

VESIHALLITUKSEN MONISTESARJA

1981:63

JÄLLEENIMEYTYS POHJAVEDEN RAUDAN
JA MANGAANIN POISTOSSA

Sirkka Saarinen

V E S I H A L L I T U K S E N M O N I S T E S A R J A

1981:63

JÄLLEENIMEYTYKSEN POHJAVEDEN RAUDAN
JA MANGAANIN POISTOSSA

Sirkka Saarinen

Vesihallitus
Helsinki 1981

Tekijä on vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen
voida vedota vesihallituksen virallisena kannanottona

SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
SISÄLLYSLUETTELO	3
KUVALUETTELO	6
TAULUKKOLUETTELO	8
1. JOHDANTO	9
2. POHJAVESI	11
2.1 Pohjaveden muodostuminen ja esiintymismuodot	11
2.2 Pohjavesivarat ja pohjaveden laatu	12
3. RAUTA JA MANGAANI POHJAVEDESSÄ	14
3.1 Raudan ja mangaanin esiintymiseen vaikuttavia tekijöitä	14
3.2 Raudan ja mangaanin esiintymisen alueelliset erot	15
3.3 Pohjaveden redoxpotentiaali	16
3.4 Raudan ja mangaanin esiintymismuodot pohjavedessä	17
3.5 Rauta- ja mangaanibakteerit	21
3.6 Haitat juoma- ja talousvedessä	23
3.7 Sallitut pitoisuudet	24
3.8 Raudan ja mangaanin poistomenetelmät	25
3.81 Yleistä	25
3.82 Käytössä olevia käsittelymenetelmiä	26
3.83 Maaperän hyväksikäyttö raudan ja mangaanin poistossa	29
4. JÄLLEENIMEYTYSMENETELMÄ	30
4.1 Yleistä	30
4.2 Jälleenimeytyslaitos	31
4.21 Imeytysalueen pohjaveden laatu	31
4.22 Esikäsittely	31
4.23 Imeytysallas ja puhdasvesikaivo	35
4.24 Jälleenimeytyslaitoksen mitoitus	36
4.25 Suodattimien puhdistaminen	37

5.	JÄLLEENIMEYTYSMENETELMÄN KÄYTTÖ SUOMESSA	38
5.1	Yleistä	38
5.2	Toiminnassa olevia jälleenimeytyslaitoksia	38
5.21	Taivassalo	38
5.22	Peräseinäjoki	39
5.23	Iisalmi	41
5.24	Tuusula	42
5.25	Joensuu	44
5.3	Käyttökokemuksia toiminnassa olevilta jälleenimeytyslaitoksilta	44
5.31	Veden laatu	44
5.32	Suodattimien puhdistamistarve	46
6.	JÄLLEENIMEYTYSKOE PUNKALAITUMELLA	47
6.1	Tutkimusalue	47
6.11	Kanteenmaan pohjavedenottamo	47
6.12	Alueen maaperä	48
6.13	Pohjaveden laatu	49
6.2	Tutkimuksen suorittaminen	53
6.21	Yleistä	53
6.22	Koejärjestelyt	53
6.23	Kokeen suoritus	55
6.24	Kokeen seuranta	55
6.3	Koetulokset	57
6.31	Yleistä	57
6.32	Rautapitoisuus	58
6.33	Mangaanipitoisuus	60
6.34	Happipitoisuus	62
6.35	pH	64
6.36	Väri	65
6.37	Kaliumpermanganaatin kulutus	65
6.38	Muut analyysitulokset	65
6.39	Imeytysaltaiden tukkeutuminen	66

6.4	Toimenpiteet jälleenimeytysmenetelmän käyttöönottoa varten Kanteenmaan pohja-vedenottamalla	67
6.41	Yleistä	67
6.42	Puhdasvesikaivo	68
6.43	Esikäsitteily ja imeytysallas	69
6.44	Muut toimenpiteet	70
7.	JÄLLEENIMEYTYSLAITOKSEN RAKENTAMIS- JA KÄYTTÖKUSTANNUKSISTA	71
7.1	Rakentamiskustannukset	71
7.11	Yleistä	71
7.12	Lisäkaivot ja raakavesijohto	71
7.13	Esikäsitteily ja imeytysallas	73
7.14	Yhteenveto rakentamiskustannuksista	74
7.15	Tutkimuskustannukset	75
7.2	Käyttökustannukset	76
7.21	Energia	76
7.22	Suodattimien puhdistaminen	77
7.23	Yhteenveto käyttökustannuksista	77
	TIIVISTELMÄ	79
	SUMMARY	81
	KIRJALLISUUSLUETTELO	83
	LIITTEET	85

KUVALUETTELO
LIST OF FIGURES

1. Pohjaveden esiintymismuotoja
Appearance of groundwater
2. Raudan esiintymismuotojen Eh-pH-rajat vesiliuoksessa /11/
Eh-pH-limits of iron species in aqueous solution /11/
3. Mangaanin esiintymismuotojen Eh-pH-rajat vesiliuoksessa /10/
Eh-pH-limits of manganese species in aqueous solution /10/
4. Leptothrix (A) ja Gallionella (B) /16/
Leptothrix (A) and Gallionella (B) /16/
5. Rautabakteerien toiminnan Eh-pH-rajat Baas-Becking ym. mukaan /35/
Eh-pH-limits of iron bacteria according to Baas-Becking et.al. /35/
6. Jälleenimeytyslaitoksen toimintaperiaate
The re-infiltration method
7. Kaksoiskerrosteorian periaate /25/
The model of the film-theory /25/
8. Ilmastus rei'itetyn putken kautta
Aeration through a pipe with holes
9. Keskeneneräinen sepelisuodatinportaikko Peräseinäjoella
A pre-treatment unit under construction in the commune of Peräseinäjoki
10. Puhdasvesikaivo on imeytysaltaan vieressä
The pure water well is beside the infiltration basin
11. Ilmastus ja sepelisuodatus
Aeration and infiltration through crushed stone
12. Ilmastus ja sepelisuodatus
Aeration and infiltration through crushed stone
13. Kanteenmaan ja Kennin pohjavedenottamot Punkalaitumella
Kanteenmaa and Kenni, ground water works in the commune of Punkalaidun
14. Kanteenmaan pohjavedenotto. Etualalla on kaivo I ja taaempaa kaivo II. Imeytyskoe tehtiin vedenottamon takana olevassa hiekkakuopassa.
The ground water works of Kanteenmaa. There is well I in the foreground and well II farther. The re-infiltration test was carried out in the gravel pit behind the water works.

15. Tutkimuspisteiden sijainti ja koealueen asemapiirustus
Investigation points and the plan of the investigation area
16. Tutkimuspisteiden sijainti
Investigation points
17. Sepelisuodatin
Crushed stone on plastic foil
18. Ilmastus
Aeration
19. Näyteputki, josta virtaa suodattunutta vettä
Infiltrated water flows from the drain
20. Veden laadun muuttuminen jälleenimeytyksessä (25.7.1980)
The changes of water during re-infiltration (25.7.1980)
21. Veden rautapitoisuudet jälleenimeytyskokeen aikana
The iron contents of water during the re-infiltration test
22. Veden mangaanipitoisuudet jälleenimeytyskokeen aikana
The mangan contents of water during the re-infiltration test
23. Veden happipitoisuudet jälleenimeytyskokeen aikana
The oxygen contents during the re-infiltration test
24. Veden pH-arvot jälleenimeytyskokeen aikana
The pH-values of water during the re-infiltration test
25. Ilmastus ja sepelisuodatus
Aeration and infiltration through crushed stone
26. Raakavesijohdon rakentamiskustannukset /21/
The investment costs of raw water pipe /21/
27. Vedenkäsittelylaitosten rakentamiskustannukset /21/
The investment costs of water treatment plants /21/
28. Vedenkäsittelylaitosten käyttökustannukset /21/
The running costs of water treatment plants /21/

TAULUKKOLUETTELO
LIST OF TABLES

1. Taivassalon kunnan jälleenimeytyslaitokselta otettujen näytteiden rauta- ja mangaanipitoisuuksia
Iron and manganese contents of water in the re-infiltration plant in the commune of Taivassalo
2. Peräseinäjoen kunnan jälleenimeytyslaitokselta otettujen näytteiden analyysituloksia
Quality of water in the re-infiltration plant in the commune of Peräseinäjoki
3. Ruotsin jälleenimeytyslaitoksilla saatuja puhdistustuloksia /38/
Purification results in re-infiltration plants in Sweden /38/
4. Suomen jälleenimeytyslaitoksilla saatuja puhdistustuloksia
Purification results in re-infiltration plants in Finland
5. Rautapitoisuuksia Kanteenmaan pohjavedenottamolla
Iron contents in the water works of Kanteenmaa
6. Tutkimusalueen rauta- ja mangaanipitoisuuksia
Iron and manganese contents in the investigation area
7. Veden lämpötilat ja hapen kyllästysarvot jälleenimeytyskokeen aikana
Temperatures of water and the saturation values of oxygen during the re-infiltration test
8. Suodatinhiekan suhteelliset rautapitoisuudet
The relative iron contents of the sand filter
9. Jälleenimeytyslaitosten rakentamiskustannuksia
Investment costs of the re-infiltration plants
10. Raakaveden pumppauksesta aiheutuvat energiakustannukset jälleenimeytyslaitoksilla
The energy costs of raw water pumping in re-infiltration plants

1. JOHDANTO

Pohjavesi on pintaveteen verrattuna monessa suhteessa edullisempi vedenhankintavaihtoehto. Pohjaveden laatu on useimmiten pintavettä parempi. Myös pohjaveden laadun ja lämpötilan vaihtelut ovat eri vuodenaikoina vähäisiä. Pohjavesissä ei yleensä ole patogeenisia bakteereja, joten desinfiointia ei tarvita. Pohjaveden likaantumisalttius on myös vähäisempi kuin pintaveden. Toisaalta saastuneen pohjaveden puhdistaminen on vaikeaa ja kallista. Likaantumistapauksissa on vedenotto esiintymästä yleensä lopetettava joko määräajaksi tai kokonaan.

Pohjavesilaitoksia on Suomessa huomattavasti enemmän kuin pintavesilaitoksia. Vesihallituksen vuoden 1977 vesihuolto-tilastoon on luetteloitu 764 vesilaitosta. Näistä oli julkisen valvonnan piiriin kuuluvia yli 200 asukkaan vesilaitoksia 646 kappaletta, joista puolestaan 532 oli pohjavesilaitoksia. /32/.

Huomattavin pohjavesilaitoksilla esiintyvä haittatekijä on korkea rauta- ja mangaanipitoisuus. Teknisenä ongelmana on raudan ja mangaanin poistaminen vedestä ratkaistu. Etenkin pienten pohjavesilaitosten perustamis- ja käyttökustannukset nousevat kuitenkin verraten suuriksi, jos rakennetaan normaali ilmastuksen, selkeytyksen, suodatuksen ja kemikalioinnin sisältävä raudanpoistolaitos.

Kustannusten pienentämiseksi on ollut tarpeen kehittää pienille pohjavesilaitoksille sopivia halvempia raudanpoistomenetelmiä. Eräs vaihtoehto on Ruotsissa kehitetty ns. jälleenimeytysmenetelmä. Se ei varsinaisesti ole uusi käsittelymenetelmä, koska siihen kuuluu normaali ilmastus ja suodatus. Uutena tekijänä tässä menetelmässä on maaperän hyväksikäyttö pohjaveden puhdistamisessa varsinaisten laitoserakenteiden asemasta.

Jälleenimeytyslaitoksia on Suomessa käytössä kymmenkunta. Suomessa on tehty tutkimus /7/, jossa on selvitetty jälleenimeytysmenetelmän toimivuutta erilaisissa hydrogeologisissa oloissa. Lisäselvitysten tekeminen ja käytössä olevien laitojen toiminnan selvittäminen nähtiin kuitenkin tarpeelliseksi.

Tämän selvityksen tavoitteena oli:

- Laatia lyhyt yhteenveto pohjaveden raudan ja mangaanin esiintymiseen ja poistoon liittyvästä kirjallisuudesta
- Tutkia jälleenimeytysmenetelmän soveltuvuutta Punkalaitumen kunnan Kanteenmaan pohjavedenottamolla laitosmittakaavassa tehdyllä kokeella
- Kerätä käyttökokemuksia käytössä olevilta jälleenimeytyslaitoksilta
- Kerätä rakentamis- ja käyttökustannustietoja käytössä olevilta jälleenimeytyslaitoksilta.

Tämä tutkimus tehtiin Tampereen vesipiirin vesitoimistossa diplomityöksi Tampereen teknillisen korkeakoulun rakennustekniikan osastolle vs. professori Esko Haumeen johdolla. Työtä ohjasi FM Risto Vanhala.

2. P O H J A V E S I

2.1 POHJAVEDEN MUODOSTUMINEN JA ESIINTYMISMUODOT

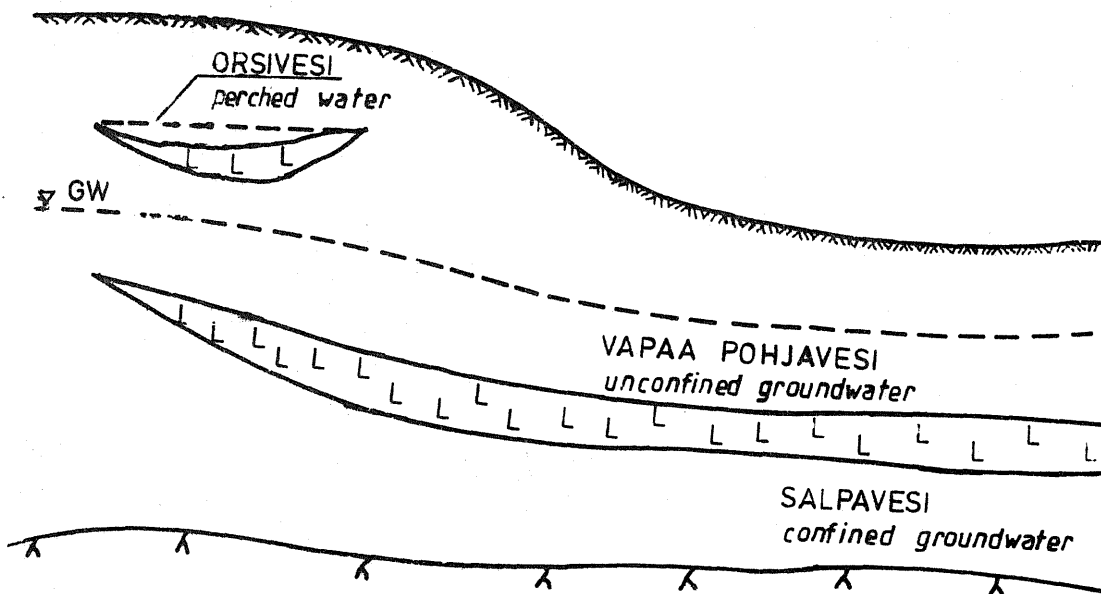
Pohjaveden muodostuminen on osa luonnossa tapahtuvaa veden kiertokulkua. Maanpinnalle tulevista sade- ja sulamisvesistä osa virtaa pintavaluntana vesistöihin, osa haihtuu ilmaan ja osa imeytyy maahan. Maahan imeytynyt vesi vajoaa ns. vajovenä pitkin maarakeiden välisiä huokosia. Tavatessaan tiiviin alustan vajovesi leviää sen päälle täyttäen kaikki raot ja huokoset. Tätä maanpinnan alla kaiken huokostilan täyttävää ja vain hydrostaattisen paineen vaikutuksesta liikkuu vettä sanotaan pohjavedeksi.

Pohjaveden muodostumismäärät vaihtelevat yleensä jaksollisesti. Suuri osa pohjavedestä muodostuu keväällä lumien sulamisvesistä sekä syksyllä syyssateiden vaikutuksesta.

Pohjavedeksi imeytyvän veden määrään vaikuttavat pääasiassa maaperän laatu, maanpinnan muoto, kasvillisuus, sateen ominaisuudet sekä ilmastolliset tekijät. Maaperän laatu vaikuttaa siten, että muodostuvan pohjaveden määrä on suurin hiekka- ja sora- mailla, jossa 30...80 % sadannasta imeytyy pohjavedeksi. Moreenimailla on imeytymismäärä yleensä 10...20 % sadannasta. Koheesiomailla pääosa sade- ja sulamisvesistä poistuu pinta- ja pintakerrosvaluntana vesistöihin. Turvekerrostumiin imeytyy sadannasta suurin osa, mutta voimakkaan haihtumisen takia jää suoalueiden pohjavesivalunnaksi 30...40 % sadannasta. /14/.

Hydraulisesti johtavissa muodostumissa pohjaveden esiintymismuodot ovat vapaa pohjavesi, arteesinen pohjavesi eli salpavesi ja orsivesi (kuva 1). Yleisin esiintymismuoto on vapaa pohjavesi, joka esiintyy silloin, kun pohjaveden pinnan tasolle ulottuvan vettäjohtavan kerroksen alla on vettäjohtamaton kerros. Salpavettä esiintyy silloin, kun vettäjohtavan kerroksen päällä on vettäjohtamaton kerros.

Arteesiseksi vedeksi sanotaan sellaista paineenalaista salpavettä, jossa vedenpinnan painetaso nousee maanpinnan yläpuolelle. Orsivesi taas on syntynyt varsinaisen pohjaveden pinnan yläpuolelle. Tällöin kahta eri pohjavesivarastoa erottaa vettäläpäisemätön maakerros.



Kuva 1. Pohjaveden esiintymismuotoja
Fig.1. Appearance of groundwater

2.2 POHJAVESIVARAT JA POHJAVEDEN LAATU

Sora- ja hiekka-alueet ovat parhaita pohjaveden muodostumisalueita. Niitä ovat Suomessa ennenkaikkea karkeista aineksista koostuneet glasifluviaaliset eli jäätikön sulamisvesien kerrostamat muodostumat. Näitä ovat harjut, reunamuodostumat ja deltat. Myös tuulen kasaamat dyynit eli lentohietikot voivat joskus olla tärkeitä pohjaveden muodostumisalueita /33/. Pohjaveden muodostuminen moreenialueella on usein vähäistä, mutta esimerkiksi hiekka- ja soramoreenissa voi pohjaveden muodostuminen olla aineksen hyvän läpäisyyden ansiosta huomattavaa.

Pohjaveden pinta on Suomessa yleensä muutaman metrin syvyydellä maanpinnasta, mutta harju- ja kangasalueilla saattaa pohjaveden pinta olla useita kymmeniä metrejä maanpinnan alapuolella. Hiekka- ja soramailla vedellä kyllästetty vyöhyke voi olla kymmenienkin metrien vahvuinen.

Pohjavesivarojen suuruudeksi on Suomen sora- ja hiekka-alueilla arvioitu 40-50 m³/s eli 3,4-4,3 milj.m³/d /17, 18/. Vesi- hallitus on v. 1974 kartoittanut ns. yhdyskuntien vedenhankinnalle tärkeät pohjavesialueet, joiden antoisuudeksi on arvioitu 20 m³/s eli 1,7 milj.m³/d /37/.

Yhdyskuntien vesilaitokset jakoivat v. 1978 pohjavettä kulu- tukseen keskimäärin 1,1 milj.m³/d. Pohjaveden osuus veden- kulutuksesta oli noin 42 %. /31/.

Sekä maa- että kallioperämme pohjavesi on useimmiten laadul- taan hyvää ja sellaisenaan juoma- ja talousvedeksi kelpaavaa. Pohjavesi on yleensä hygienisesti moitteetonta, pehmeää sekä niukasti suoloja ja orgaanista ainesta sisältävää. Pohja- vesille ominaista on runsas hiilidioksidin määrä. Pohja- veden rauta- ja mangaanipitoisuudet vaihtelevat suuresti eri esiintymissä, mutta myös saman esiintymän alueella voivat pitoisuudet vaihdella huomattavasti.

3. RAUTA JA MANGAANI POHJAVEDESSÄ

3.1 RAUDAN JA MANGAANIN ESIINTYMISEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Raudan ja mangaanin esiintymiseen pohjavedessä vaikuttavia tekijöitä ovat ympäristön maa- ja kallioperän fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, maaperän geologinen rakenne, hydrologiset olosuhteet ja mikrobiologiset tekijät /8/.

Ilmakehässä olevat suolat, ilmakehän happi ja hiilidioksidi sekä typpiyhdisteet liukenevat vesihöyryn tiivistyessä sadeteen ja joutuvat siten kosketuksiin maa- ja kallioperän mineraaliainesten kanssa. Lisäksi sadevesi liuottaa maa- ja kallioperästä aineksia, jotka lisäävät sen rapauttavaa vaikutusta. Esimerkiksi raudan ferromuoto sekä mangaani liukenevat vedessä olevan hiilihapon vaikutuksesta suhteellisen helposti bikarbonaateiksi. /26/.

Maankuoresta on rautaa keskimäärin 4,7 % ja mangaania 0,085 % /35/. Rauta on yleisimpiä silikaattimineraalien alkuaineita. Rautapitoisia mineraaleja ovat esimerkiksi pyrokseenit, amfibolit ja eräät kiilteet. Erilaisia raudan oksidimuotoja ovat magnetiitti, hematitiitti ja limoniitti. Myös sulfidi- ja karbonaattimineraalit kuten pyritti ja sideriitti sisältävät rautaa huomattavasti. Mangaania on suurimmat määrät metamorfisissa ja sedimenttikivilajeissa. Mangaanioksideja ovat esimerkiksi manganiitti, pyrolusiitti ja hausmanniitti. Mangaanin karbonaateista on tärkein rodokrosiitti. /3, 20/.

Hapen saannin vaihtelut vaikuttavat pohjaveden rauta- ja mangaanipitoisuuksiin. Vedessä olevan hapen vaikutuksesta rauta- ja mangaaniyhdisteet saostuvat ja pidätyvät syvemmälle maaperään. Saostumat erottuvat maaperässä usein selvinä horisontteina.

Myös biologiset toiminnot vaikuttavat raudan ja mangaanin saostumiseen. Biotoiminta on sitä vilkkaampaa mitä enemmän vedessä on liuennutta orgaanista ainesta. Biotoiminta kuluttaa happea ja luovuttaa hiilidioksidia. Näin syntyy raudan ja mangaanin pelkistymiselle suotuisat olosuhteet.

Hyvin vettäjohtavien maalajien alueilla pääsevät sade- ja sulamisvedet imeytymään maaperään happirikkaina. Rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat tällöin yleensä pieniä. Tiiviiden maakerrostumien alla oleva pohjavesi on virrannut alueelle kauempaa. Tällöin biologinen toiminta kuluttaa veden happivarat loppuun ja maaperässä olevat rauta- ja mangaaniyhdisteet ovat liukoisessa muodossa. Veden rauta- ja mangaanipitoisuudet voivat silloin nousta korkeiksi. Tälläisiä alueita voi olla esimerkiksi harjujen reunamilla ja savien alaisissa arteesisissa pohjavesiesiintymissä.

Rautaa ja mangaania esiintyy pohjavedessä yleensä samanlaisesti. Rautapitoisuudet ovat kuitenkin huomattavasti suurempia. Osaksi tämä johtuu siitä, että mangaania sisältävät mineraalit ovat harvinaisempia kuin rautaa sisältävät. Mangaanin karbonaatit ovat kuitenkin liukoisempia kuin raudan /26/.

3.2 RAUDAN JA MANGAANIN ESIINTYMISEN ALUEELLISET EROT

Pohjaveden laadun perusteella erotetaan Suomessa usein rannikkoalue ja sisämaan alue.

Rannikkoalueeseen kuuluvat Uudenmaan, Turun ja Porin, Vaasan, Kymen, Oulun sekä Lapin läänien rannikkoalueet. Tämän alueen pohjavesien elektrolyyttimäärä on keskimääräistä korkeampi. Erityisesti fluoridi-, bikarbonaatti-, sulfaatti-, kloridi-, magnesium-, kalsium-, mangaani- ja rautapitoisuudet ovat varsin korkeita. /1, 14/.

Sisämaan alue käsittää maan muut osat. Tällä alueella on liuenneita aineita huomattavasti vähemmän kuin rannikkoalueella. Huomattavimmat alueelliset erot liittyvät raudan ja mangaanin esiintymiseen. Kymen läänin pohjoisosan sekä Hämeen ja Keski-Suomen läänien pohjavedet sisältävät rauta- ja mangaaniyhdisteitä suhteellisen vähän. Myöskin Oulun ja Lapin läänien pohjavesien rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat pieniä. Sen sijaan Kuopion, Mikkelin ja Pohjois-Karjalan läänien pohjavesissä ovat rauta- ja mangaanipitoisuudet suurehkoja. /1, 14/.

Edellä esitetyllä alueellisella jaotuksella lienee kuitenkin raudan ja mangaanin esiintymistä ajatellen vain vähäinen merkitys. Esimerkiksi rannikkoalueilla vaihtelevat pohjavesien rauta- ja mangaanipitoisuudet huomattavasti riippuen geologisesta muodostumasta.

3.3 POHJAVEDEN REDOXPOTENTIAALI

Veden redox- eli hapetus-pelkistys- eli Eh-potentiaali ilmaisee kuinka hapettavaa tai pelkistävää vesi on tunnettuun standardiin verrattuna. Redoxreaktiossa hapettuva systeemi luovuttaa ja pelkistynvä vastaanottaa elektroneja. Reaktiota voidaan mitata potentiometrisesti voltteina.

Pohjaveden redoxpotentiaali kuvaa vedessä kulloinkin vallitsevaa tasapainotilaa. Tasapainotilaan vaikuttavia ulkoisia tekijöitä ovat esimerkiksi lämpötila, pH ja eri aineiden konsentraatiot, joiden osuus tasapainon muodostumisessa vaihtelee tapauksesta toiseen. Redoxpotentiaalimittauksilla voidaan tällöin ilmaista systeemin kaikkien tekijöiden yhteisvaikutusta. /8/.

Useat käytännön redoxpotentiaalimittaukset ovat osoittaneet, että pH-7:ään korjatun redoxpotentiaalın laskiessa alle +230 mV, veteen liunneen raudan pitoisuus alkaa kohota.

Redoxpotentiaaliarvojen avulla voidaan siten arvioida raudan esiintymismuotoa vedessä. Raudan ohella vaikuttavat pohjaveden redoxpotentiaaliarvoihin monien muidenkin metalliyhdisteiden ja jopa orgaanisten aineiden hapetus-pelkistystasapainot sekä useissa luonnonvesissä vielä irreversiibelien palautumattomien redoxsysteemien aiheuttamat potentiaali-erot. /7, 8/.

Mangaani liukenee veteen jo huomattavasti korkeammalla redoxpotentiaalitasolla kuin rauta. Mangaanin liukoisuusrajaksi pH-7:ssä on laboratorio-kokeissa saatu noin 600 mV /7/. Tätä alemmilla redoxpotentiaalitasoilla esiintyisi mangaani pääasiassa liuenneessa muodossa. Käytännössä tarkkoja rajoja ei voida kuitenkaan määrittää.

3.4 RAUDAN JA MANGAANIN ESIINTYMISMUODOT POHJAVEDESSÄ

Rautaa voi esiintyä pohjavedessä liukoisessa ferromuodossa, Fe^{2+} , tai liukenemattomassa ferrimuodossa, Fe^{3+} . Mangaanin luonnossa esiintyvät muodot ovat Mn^{2+} , Mn^{3+} ja Mn^{4+} . Mangaanin 5-, 6- ja 7-arvoisia muotoja voidaan tuottaa vain keinotekoisesti.

Ferriraudan tavallisin esiintymismuoto vedessä on ferrihydroksidi, $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Sen liukoisuus on pH-alueella 5...8 hyvin alhainen. Ferrihydroksidi on heikko emäs. Sen ionisoitumismuotoja ovat $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, FeO^+ , FeOH^{2+} ja Fe^{3+} . Jos pH on kyllin korkea, muodostuu anioneja, esimerkiksi FeO_2^- . Myös korkeammat hapetusasteet ovat mahdollisia, esimerkiksi FeO_4^{2-} . Ferrirauta on voimakas kompleksinmuodostaja. Epäorgaanisista komplekseista ovat tavallisimpia kloridien, fuoridien, fosfaattien, sulfaattien ja karbonaattien ionit. Ferrirauta muodostaa myös orgaanisia komplekseja. /11/.

Ferrorauta on ferrirautaa heikompi kompleksinmuodostaja. Ferrohydroksidi, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, on ferrihydroksidia vahvempi emäs. Ferroraudan ionisoitumismuotoja ovat FeOH^+ ja Fe^{2+} . Ferro-

anionit, esimerkiksi hypoferritti FeO_2^{2-} , muodostuvat vahvasti alkaalisissa liuoksissa. Ferrorauta esiintyy luonnonvesissä tavallisimmin yksinkertaisena Fe^{2+} -ionina. /11/.

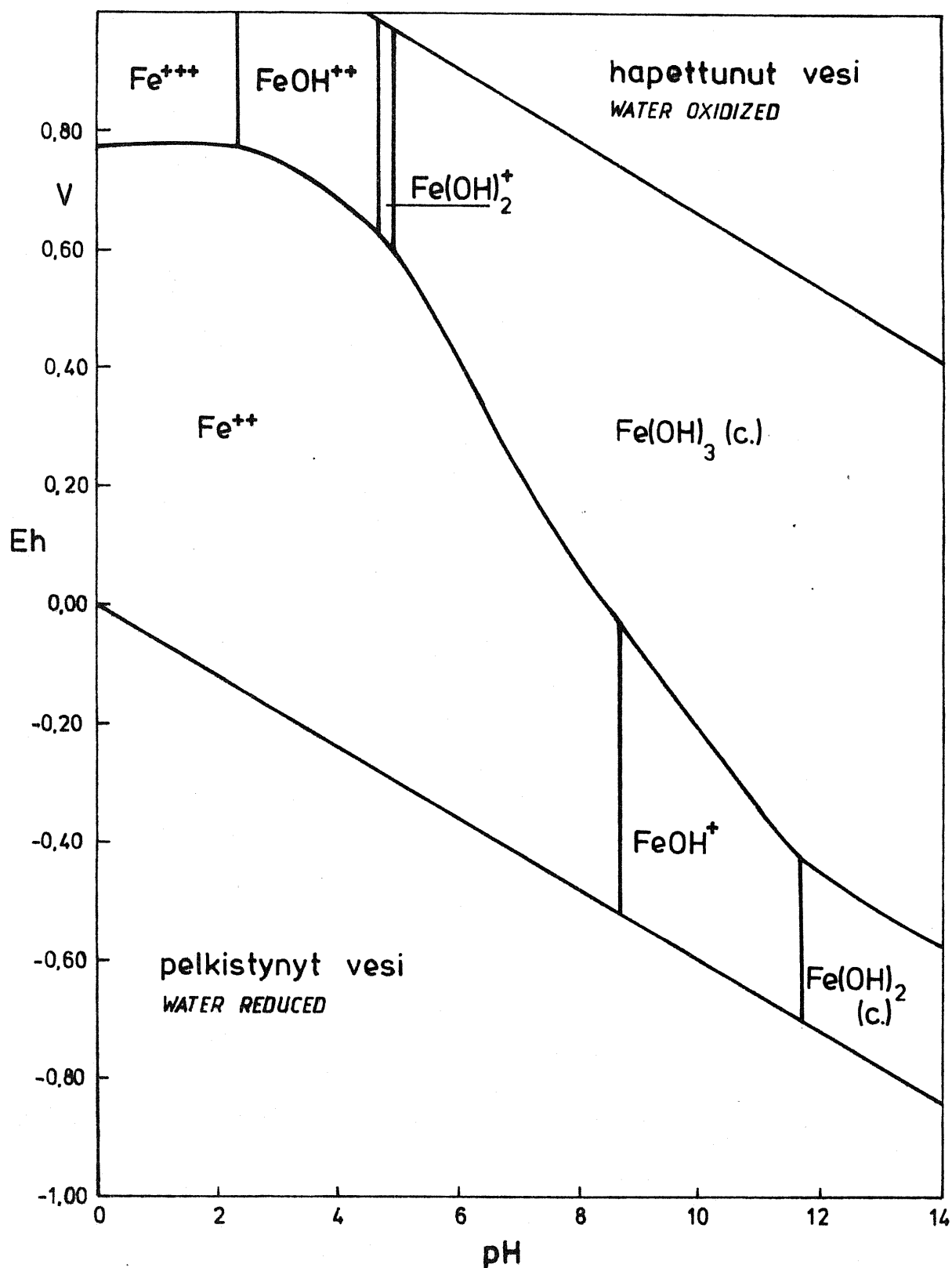
Mangaanin 2- ja 3-arvoiset muodot ovat pelkistyneitä. Neljänarvoisena mangaani on hapettunut. Mangaani liukenee etupäässä bikarbonaattina, $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$. Hapetuttuaan neljänarvoiseksi, esimerkiksi $\text{MnO}(\text{OH})_2$, jää mangaani aluksi liuokseen kolloidisena hydroksidina, joka sopivissa olosuhteissa saostuu. /7, 36/.

Laboratorio-olosuhteissa tehtyjen kokeiden perusteella on pystytty määrittämään varsin tarkasti raudan ja mangaanin pelkistyneiden ja hapettuneiden muotojen riippuvuus eräistä ympäristötekijöistä.

Kuvassa 2 on esitetty raudan eri hapetusasteiden riippuvuus pH:sta ja redoxpotentiaalista. Kiinteiden aineiden stabiiliusalueet ilmaisevat ne alueet, joissa raudan aktiivisuus liuoksessa on vähemmän kuin 0,01 mg. /7, 11/.

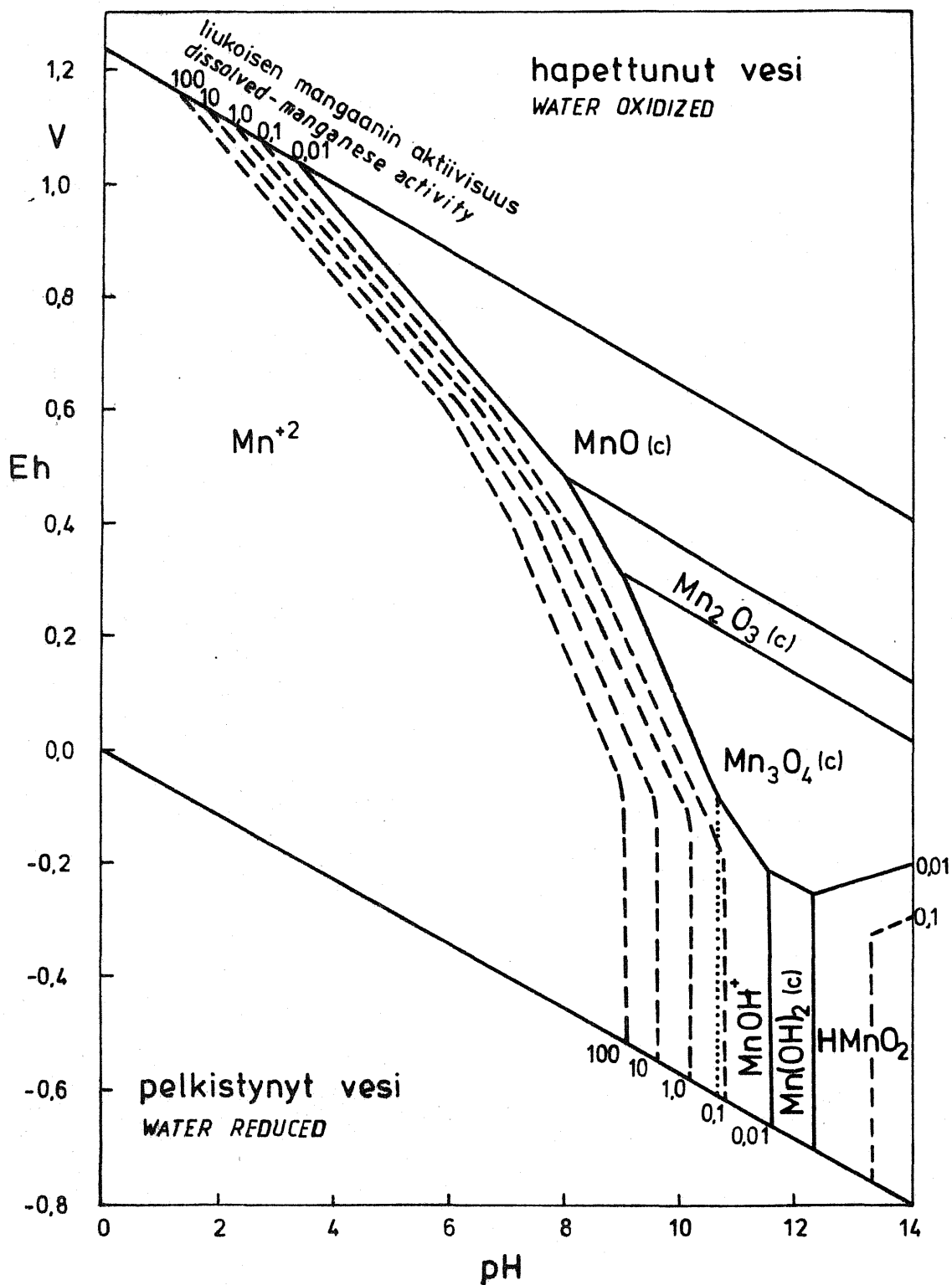
Kuvassa 3 on esitetty mangaanin eri hapetusasteiden riippuvuus pH:sta ja redoxpotentiaalista. Kaksiarvoisen mangaanin hapettumis- ja saostumisnopeus kasvaa nopeasti pH:n noustessa.

Kuvien 2 ja 3 diagrammeissa ei ole otettu huomioon muita pohjavedessä yleisesti esiintyviä yhdisteitä, jotka vaikuttavat redoxtasapainoon. Liukoisuuskäyrät ovat siten vain ohjeellisia.



Kuva 2. Raudan esiintymismuotojen Eh-pH-rajat vesiliuoksessa /11/

Fig. 2. Eh-pH-limits of iron species in aqueous solution /11/

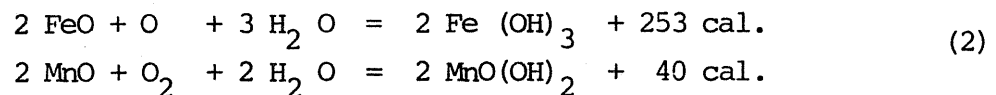
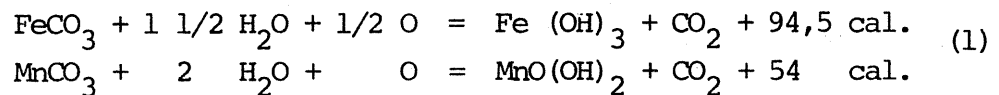


Kuva 3. Mangaanin esiintymismuotojen Eh-pH-rajat vesiliuoksessa /10/

Fig. 3. Eh-pH-limits of manganese species in aqueous solution /10/

3.5 RAUTA- JA MANGAANIBAKTEERIT

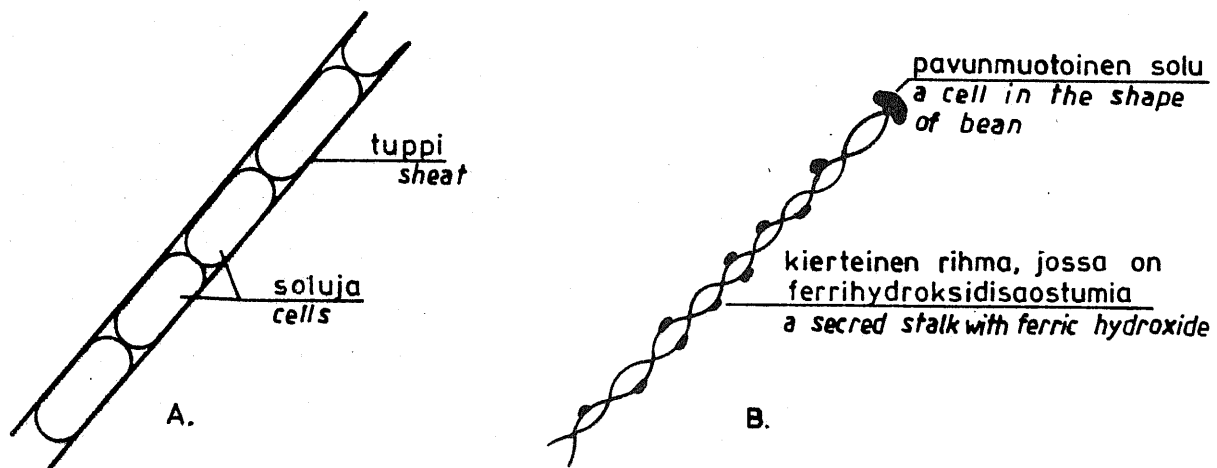
Rauta- ja mangaanibakteerit pystyvät käyttämään raudan ja mangaanin hapetusta aineenvaihduntareaktioidensa energialähteenä. Raudan ja mangaanin bakteriellinen hapetus voidaan esittää seuraavasti /2/:



Raudan hapetuksessa saatu energiamäärä on yli kuusinkertainen verrattuna mangaanin hapetukseen. Bakteeri, joka pysyy käyttämään sekä raudan että mangaanin hapetusta energialähteenään, joutuu hapettamaan mangaania kuusinkertaisen määrän rautaan verrattuna saadakseen saman energian /2, 8/.

Rauta- ja mangaanibakteerit kuuluvat pääasiassa lahkoihin Pseudomonadales ja Chlamydobacteriales. Jälkimmäiseen kuuluvat esimerkiksi Leptothrix, Grenothrix ja Sphaerotilus. Pseudomonadales lahkoon kuuluvia ovat esimerkiksi Gallionella, Siderocapsa ja Naumaniella. Rautabakteereista tyypillisimpiä ovat Leptothrix- ja Gallionella-suvun bakteerit (kuva 4). Jotkut tutkijat olettavat Leptothrixorganismin olevan saman kuin Sphaerotilus-organismin. /9, 16/.

Leptothrix on yleinen rautapitoisissa vesissä. Rautapitoisen pohjaveden purkautuessa maan pinnalle se värjäytyy juuri Leptothrixin vaikutuksesta ruskeaksi. Kyseessä on liukoisen Fe^{2+} :n hapettuminen hydroksidimuotoon. Leptothrixia on kahta tyyppiä. Toisissa organismeissa ei ole rautasaostumia solutuppien peittona, toisissa taas esiintyy rautahydroksidisaostumia. /8, 16/.

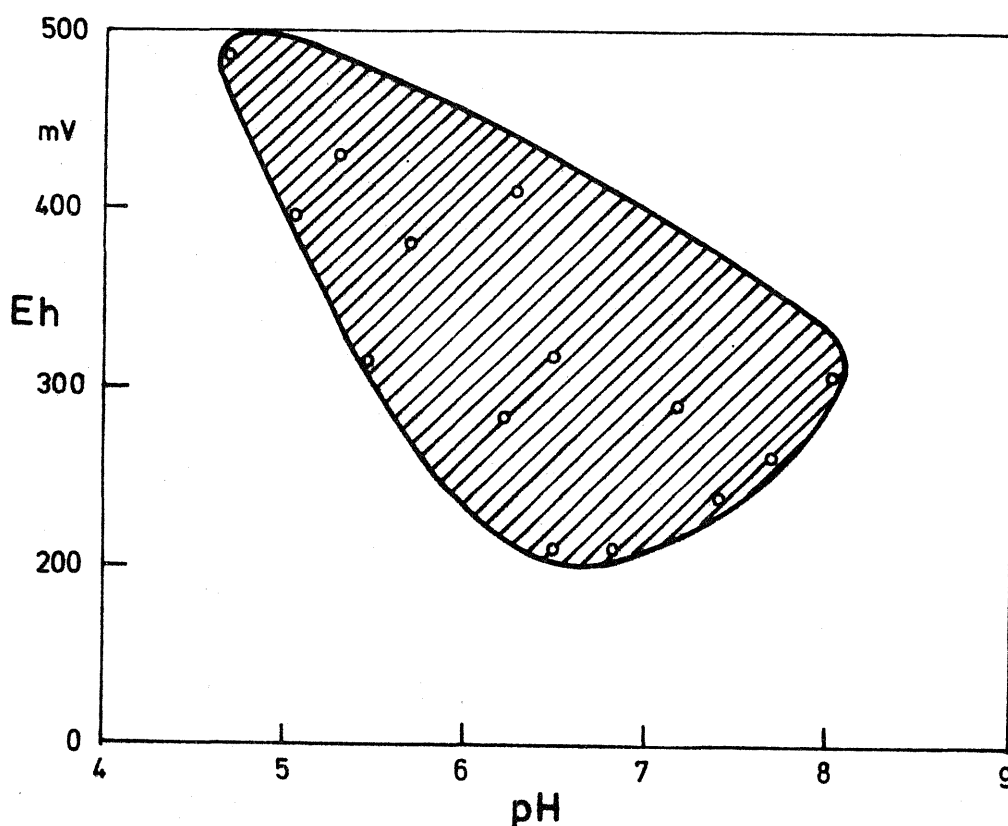


Kuva 4. Leptothrix (A) ja Gallionella (B) /16/
Fig. 4. Leptothrix (A) and Gallionella (B) /16/

Gallionellat ovat suurimmaksi osaksi autotrofeja. Ne käyttävät hiililähteenään epäorgaanista hiiltä ja typpilähteenään epäorgaanista typpeä. Gallionella suosii vesiä, joissa on alhainen orgaanisen aineksen pitoisuus. Se on mik aeroofiili, joka viihtyy vähähappisessa ympäristössä. Gallionella on siten ns. gradienttiorganismi, joka esiintyy hapellisen ja hapettoman veden rajakerroksessa. /8, 16, 35/.

Gallionellan optimaali kasvulämpötila on $+25^{\circ}\text{C}$. Se vaatii kasvaakseen tarttumapinnan. Gallionella kasvaa pH-alueella 5,8...6,6. Gallionella hapettaa liukoista bikarbonaattirautaa ja muodostaa varren ympärille rautahydroksidisaostuman. /8, 12, 34/.

Rauta- ja mangaanibakteerien elinmahdollisuuksiin vaikuttavia ympäristötekijöitä ovat mm. happikonsentraatio, pH ja orgaanisen aineen määrä /8, 34/. Happikonsentraatio ja pH ovat toisistaan riippuvia siten, että hapettuneilla pH-alueilla raudan biologinen hapetus tapahtuu korkeammissa redoktasoissa kuin korkeamman pH:n alueella. Esimerkiksi pH-alueella 5 redoktaso on $+500\text{ mV}$ ja pH-alueella 6,7 vastaavasti $+200\text{ mV}$ /34/ (kuva 5).



Kuva 5. Rautabakteerien toiminnan Eh-pH-rajat
Baas-Becking ym. mukaan /35/

Fig. 5. Eh-pH limits of iron bacteria according
to Baas-Becking et. al. /35/

3.6 HAITAT JUOMA- JA TALOUSVEDESSÄ

Suuret rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat Suomen pohjavesissä tavallisimpia haittatekijöitä. Pohjavesissä esiintyvinä pitoisuuksina niiden ei ole todettu olevan myrkyllisiä eikä terveydelle haitallisia. Niiden aiheuttamat muut haitat ovat kuitenkin niin suuria, että rauta- ja mangaanipitoisuuksille juoma- ja talousvedessä on asetettu pitoisuusrajat.

Rauta ja mangaani huonontavat veden nautittavuutta. Vesi saa metallisen maun. Mangaanipitoisuuksilla maku havaitaan kuitenkin vasta 0,5 mg/l suuremmissa pitoisuuksissa. Liuenneessa muodossa rauta ja mangaani ovat vedessä värittömiä,

mutta ilmastuneessa ja seisoneessa vedessä ne aiheuttavat värillisyyttä, sameutta ja sakkaisuutta. Vedessä oleva rauta- ja mangaani värjäävät pyykin kellertäväksi tai ruskeaksi ja läikälliseksi. Myös astioihin ja vesijohtokalusteisiin muodostuu ruskeita tai mustanruskeita kerrostumia ja värjäytymiä. Vesijohtoverkon putkien ja laitteiden syöpyminen voi lisääntyä korkean rautapitoisuuden takia. Syöpymisestä on seurauksena sakkautumia ja tukkeutumia, jotka alentavat putkiston vedenjohtokykyä. Korroosion takia veden rautapitoisuus lisääntyy edelleen. Mangaani saattaa suurina pitoisuuksina esiintyessään erottua vedestä hyvin hienojakoisena mustana sakkana. Sakka keräytyy eri kohtiin vesijohtoverkostossa löysiksi kasaumiksi, jotka lähtevät ajoittain liikkeelle virtausnopeuden muutosten vaikutuksesta värjäten veden mustaksi. /4, 12, 15, 36/.

Vedessä oleva rauta ja mangaani saattavat myös edesauttaa mikro-organismien kasvua vedenjakelujärjestelmässä. Mikrobikasvustot alentavat johtojen kapasiteettia ja aiheuttavat tukkeutumia. Johdoissa olevien mikrobikasautumien irtautumisesta on seurauksena veden sameuden lisääntyminen sekä veden hajun ja maun äkillinen huonontuminen. /20/.

3.7 SALLITUT PITOISUUDET

Lääkintöhallitus antaa määräykset ja ohjeet talousveden terveydellisistä laatuvaatimuksista sekä valvontatutkimusten suorittamisesta. Tärkeintä talousveden laadulle on, ettei se saa aiheuttaa käyttäjille terveydellistä haittaa tai vaaraa. /28/.

Tavallisimpana terveydellisen haitan aiheuttajana pidetään veden välityksellä leviäviä ulosteperäisiä taudinaiheuttajabakteereja. Myös eräät kemialliset aineet voivat aiheuttaa veden käyttäjille terveydellistä haittaa tai vaaraa. Näitä

aineita voi joutua veteen luonnostaan huuhtoutumalla tai liikaantumisen seurauksena. Vesi voi vielä sisältää aineita, jotka eivät aiheuta suoranaista terveydellistä haittaa tai vaaraa, mutta heikentävät suurina määrinä esiintyessään veden käyttöominaisuuksia. /28/.

Rauta ja mangaani huonontavat veden käyttöominaisuuksia esiintyessään suurina pitoisuuksina. Lääkintöhallitus on määritellyt veden rauta- ja mangaanipitoisuuksien ohjearvot siten, että alempi raja-arvo koskee terveydenhoitolain 56 §:n määrittelemää talousvettä ja ylempi raja-arvo ns. muuta talousvettä. Raudalle nämä raja-arvot ovat 0,3 mg/l ja 1,0 mg/l sekä mangaanille 0,1 mg/l ja 0,5 mg/l. /28/. Vesilaitoksilla on tavoitteena yleensä pidettävä arvon 0,05 mg/l alittamista sekä raudan että mangaanin suhteen /15/.

Eri maissa annetut juoma- ja talousveden rauta- ja mangaanipitoisuuksien laatuvaatimukset vaihtelevat jonkin verran. Raudan suhteen ovat ohjearvot useissa maissa samaa luokkaa kuin Suomessa. Mangaanin osalta on laatuvaatimuksia tiukennettu siten, että raja-arvo on usein pienempi kuin 0,1 mg/l. /4/.

Käyttötarkoituksesta riippuen vaaditaan teollisuudessa usein alhaisempia rauta- ja mangaanipitoisuuksia kuin juoma- ja talousvedessä. Pienetkin rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat haitallisia esimerkiksi panimo-, nahka- ja tekstiiliteollisuudessa /5/.

3.8 RAUDAN JA MANGAANIN POISTOMENETELMÄT

3.81 Y l e i s t ä

Raudan ja mangaanin poistoon vedestä kuuluvat tavallisesti seuraavat vaiheet /30/:

- 1) Rautaionin tai mangaani-ionin hapetus kahdenarvoisesta kolmenarvoiseksi
- 2) Kolmenarvoisen ionin hydrolyysi hydroksidi-hydraatiksi
- 3) Hydroksidi-hydraatin koagulaatio
- 4) Saostuman poisto

Eri vaiheet tapahtuvat osittain samanaikaisesti.

3.82 Käytössä olevia käsittelymenetelmiä

Raudan ja mangaanin poistomenetelmistä ja tarvittavista laitteista voidaan tehdä karkea suunnitelma raakaveden laadun perusteella /4, 30/:

I Raakavesi sisältää vain rautaa. Vedessä ei ole orgaanista ainesta eikä mangaania

Puhdistus-

menetelmä: ilmastus + suodatus

Laitteet: ilmastaja + hiekkasuodatin

Kemikaalit: lipeä tai sooda

pH-alue: yli 7

II Raakavedessä on rautaa ja mangaania, jotka ovat sitoutuneet löysästi orgaaniseen ainekseen. Ylimääräistä hiilidioksidia tai orgaanisia happoja ei ole.

Puhdistus-

menetelmä: ilmastus + alkalointi + selkeytys + suodatus

Laitteet: ilmastaja + selkeytysallas + hiekkasuodatin

Kemikaalit: lipeä, sooda tai kalkki

pH-alue: raudanpoistossa yli 7,5,
mangaaninpoistossa 8...10.

- III Raakaveden rauta ja mangaani ovat sitoutuneet löysästi orgaaniseen ainekseen.
- Puhdistus-
menetelmä: hapetuskemikaali + selkeytys +
suodatus
- Laitteet: kemikaalin syöttölaitteet + selkeytys-
allas + hiekkasuodatin
- Kemikaalit: kaliumpermanganaatti tai kloori +
lipeä, sooda tai kalkki
- pH-alue: 7,5...8,5
- IV Raakaveden rauta ja mangaani ovat orgaaniseen ainekseen sitoutuneina. Vedessa on orgaanisia happoja.
- Puhdistus-
menetelmä: ilmastus + kalkkikäsittely + flokkaus +
selkeytys + suodatus
- Laitteet: ilmastaja + kemikaalin syöttölaitteet +
flokkausallas + selkeytysallas +
hiekkasuodatin
- Kemikaalit: kalkki + mahdollisesti lipeä tai sooda
- pH-alue: 8,5...10
- V Raakaveden rauta on ferrobikarbonaattina. Vesi on pehmeää ja hapetonta.
- Puhdistus-
menetelmä: kalkkikäsittely + selkeytys +
hiekkasuodatus
- Laitteet: kemikaalin syöttölaitteet + suljetut
sekoitus- ja selkeytyssäiliöt +
painesuodatin
- Kemikaalit: kalkki
- pH-alue: 8,1...8,5
- VI Raakavesi on humuspitoista, värillistä ja sameaa. Rauta ja mangaani ovat orgaaniseen ainekseen sitoutuneina.
- Puhdistus-
menetelmä: ilmastus + koagulaatio + alkalointi +
selkeytys + hiekkasuodatus
- Laitteet: tavallinen kemiallinen puhdistamo
- Kemikaalit: koagulanttina alumiiniumsulfaatti
tai rautasuola + alkalointi kalkilla,
soodalla tai lipeällä
- pH-alue: 8,5...9,6

- VII Raakaveden rauta ja mangaani ovat sitoutuneet orgaaniseen ainekseen. Ylimääräisiä orgaanisia happoja ei ole.
- Puhdistusmenetelmä: ilmastus + kontaktisuodatus
- Laitteet: ilmastaja + kontaktisuodatin
- Kemikaalit: kalkki, lipeä tai sooda, mangaaninpoistossa kalkki, tarvittaessa elvytys kaliumpermanganaatilla
- pH-alue: raudanpoistossa yli 7, mangaaninpoistossa 7,5...10
- VIII Raakaveden rauta ja mangaani ovat sitoutuneina orgaaniseen ainekseen. Ylimääräistä hiilidioksidia ei ole.
- Puhdistusmenetelmä: hapetus + kontaktisuodatus
- Laitteet: kemikaalin syöttölaitteet + kontaktisuodatin
- Kemikaalit: kloori ja kaliumpermanganaatti
- pH-alue: raudanpoistossa yli 7, mangaaninpoistossa yli 8,5.
- IX Raakaveden mangaani on sitoutunut orgaaniseen ainekseen.
- Puhdistusmenetelmä: katalyyysi + ilmastus + selkeytys + suodatus
- Laitteet: suljettu pyrolusiittikerros + ilmastaja + avoin kontaktikerros + hiekkasuodatin
- pH-alue: yli 7
- X Raakavesi on hapetonta. Rautaa ja mangaania on alle 0,5 mg kutakin poistettavaa dH^{O} -yksikköä kohti.
- Puhdistusmenetelmä: zeoliittipehmennys
- Laitteet: natriumzeoliittiyksikkö + mangaani-zeoliittiyksikkö
- Kemikaalit: suodatin elvytetään suolaliuoksella
- pH-alue: yli 6,5.

3.83 Maaperän hyväksikäyttö
raudan ja mangaanin
poistossa

Suomessa kehiteltiin 1960-luvun lopulla ns. VYREDOX- eli VYR-
menetelmä raudan ja mangaanin poistoon.

VYR-laitoksissa poistetaan pohjaveden rauta ja mangaani maaperässä pohjaveden pinnan alapuolella tehtävän hapetuksen ja suodatuksen avulla /21/. Laitokseen kuuluu keskuskaivo sekä sen ympärillä useampia hapetuskaivoja. Hapetuskaivojen tai suoraan varsinaisen kaivon kautta johdetaan maaperässä olevaan pohjaveteen ilmastettua raudatonta pohjavettä. Puhdas vesi pumpputaan keskuskaivosta.

Keinotekoisien hapetuksen avulla saadaan maaperään syntymään verrattain pysyvä rajapinta, jonka hapettuneella puolella pohjavesi on lähes raudatonta ja pelkistyneellä puolella rautapitoista. Virratessaan keskuskaivoon pohjavesi suodattuu muodostuneen rajapinnan läpi, jolloin rauta ja mangaani saostuvat maaperään. Saostuminen tapahtuu ilmeisesti sekä bakteriologisen hapetuksen että fysikaaliskemiallisten ilmiöiden yhteisvaikutuksesta /6/.

VYR-menetelmän käyttö edellyttää, että maaperä on hyvin vettä läpäisevää ja käytettävissä on kaivojen sijoituksen kannalta riittävän laaja alue. Kaivoista olisi saatava riittävä määrä vettä sekä hapetukseen että kulutukseen. Suurimmaksi ongelmaksi VYR-menetelmässä on todettu maaperän ja kaivojen tukkeutuminen käytön myötä varsinkin silloin, kun varsinaista kaivoa on käytetty myös hapetuskaivona.

VYR-menetelmän toimivuutta ei voida selvittää laboratorio-
kokeiden tai laskelmien avulla. Menetelmän soveltuvuutta on tutkittava kussakin tapauksessa paikalla suoritettavien täysimittakaavaisten kokeiden avulla.

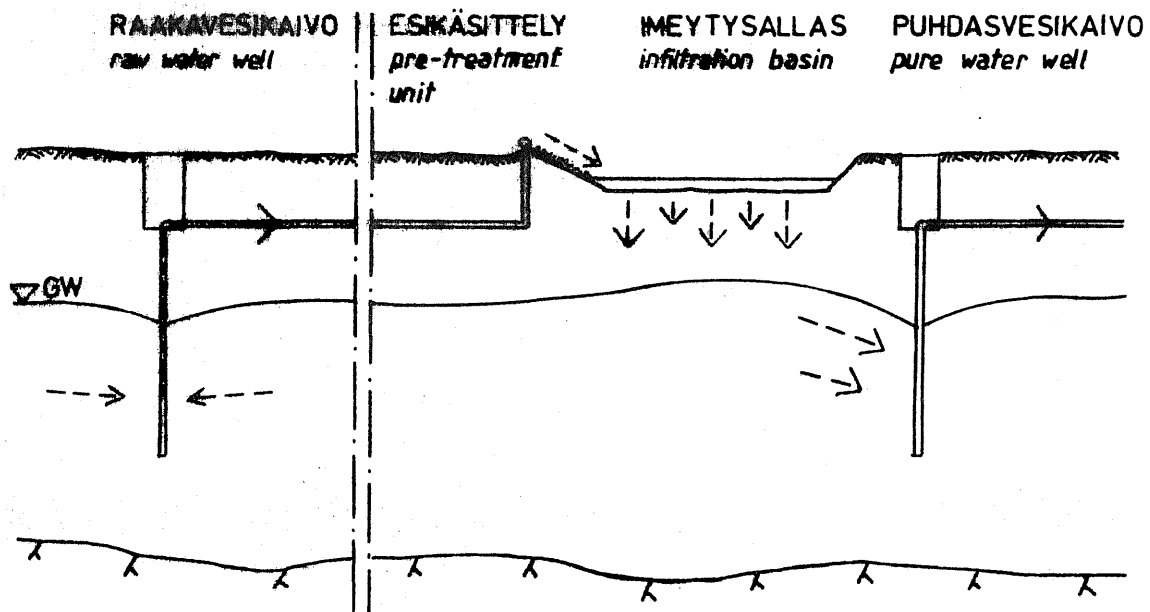
Toinen maaperää hyväksikäyttävä raudan ja mangaaninpoistomenetelmä on pohjaveden jälleenimeytys.

4. JÄLLEENIMEYTYSMENETELMÄ

4.1 YLEISTÄ

Jälleenimeytysmenetelmää on kehitetty Ruotsissa 1960-luvun loppupuolelta sekä Suomessa 1970-luvun alkupuolelta lähtien. Tarkoituksena on ollut kehittää kemiallista käsittelyä halvempi laitos.

Jälleenimeytyslaitoksen toimintamenetelmä on esitetty kuvassa 6. Rauta ja/tai mangaanipitoinen vesi pumputaan raakavedenottamolta. Raakavesi johdetaan imeytyspaikalla esikäsittelyn kautta imeytysaltaaseen. Raakaveden rauta ja mangaani poistuvat esikäsittelyn ja suodatuksen ansiosta. Hyvälaatuinen pohjavesi imeytyy maaperään ja se pumputaan puhtasvesikaivon kautta käyttöön. Mahdollinen lisäkäsittely, esimerkiksi alkalointi, tehdään jälleenimeytyskäsittelyn jälkeen.



Kuva 6. Jälleenimeytyslaitoksen toimintaperiaate
Fig. 6. The re-infiltration method

4.2 JÄLLEENIMEYTYSLAITOS

4.21 Imeytysalueen pohjaveden laatu

Rauta- ja/tai mangaanipitoinen raakavesi voidaan johtaa alueelle, jonka alkuperäinen pohjavesi on hyvälaatuista. Näin voidaan hyvälaatuisen esiintymän antoisuutta parantaa.

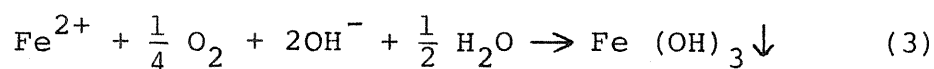
Imeytys voidaan suorittaa myös alueella, jolla alkuperäinen vesi on rauta- ja mangaanipitoista. Tällöin pyritään ottamaan käyttöön ainoastaan jälleenimeytetty puhdistunut vesi.

Samalla pohjavesialueella on usein sekä rauta- ja/tai mangaanipitoista pohjavettä että raudan ja mangaanin suhteen hyvälaatuista pohjavettä. Rauta- ja mangaanipitoinen vesi voidaan tällaisella alueella imeyttää hyvälaatuisen pohjaveden alueelle, mikäli sellainen löydetään.

4.22 Esikäsittely

Raakavesi joudutaan ennen imeyttämistä esikäsittelemään. Esikäsittelynä käytetään jälleenimeytyslaitoksilla ilmastusta ja sepelisuodatusta tai rinnevalutusta.

Ilmastuksessa saatetaan joko ilma veden tai vesi ilman kanssa kosketuksiin normaalia tehokkaammin. Ferroraudan ja hapon reaktiossa muodostuu ferrioksideja tai hydroksideja, kaava (3) /5/.



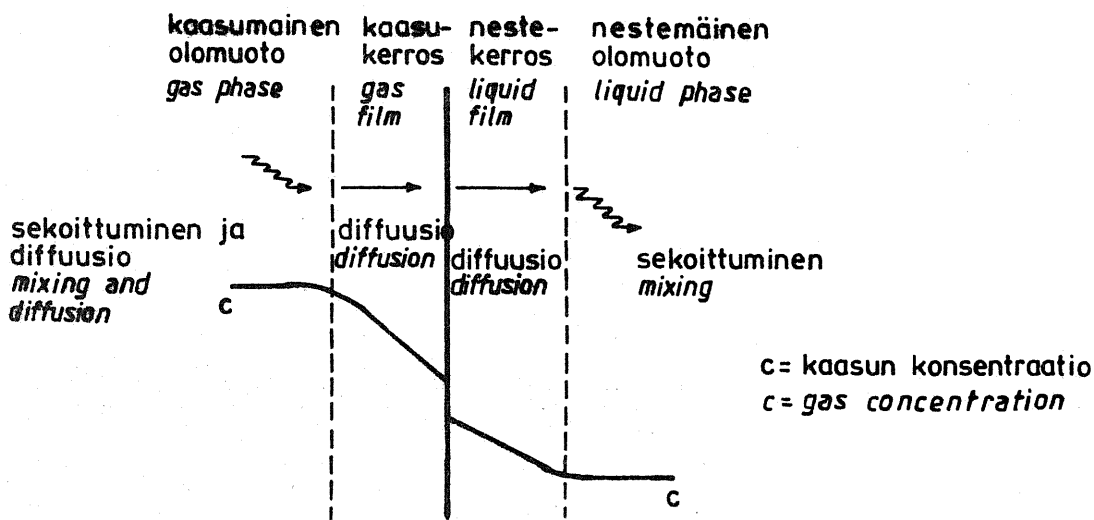
Stökiometrisesti laskettuna 1 mg/l happea hapettaa 7 mg/l ferrorautaa.

Ilmastimella pyritään sekoittamaan vesi ja ilma toisiinsa siten, että saadaan aikaan riittävän tehokas joko ilman liukeneminen veteen tai vedessä olevien haitallisten kaasujen haihtuminen ilmaan.

Ilmastuksen tehokkuus on riippuvainen /30/:

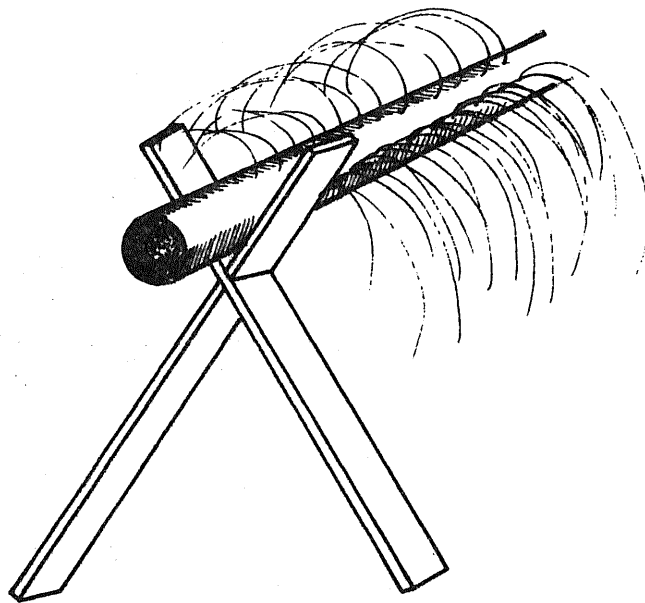
- kaasun ja nesteen välisen rajapinnan suuruudesta
- kaasun osapaineesta ilmassa
- lämpötilasta
- kaasun konsentraation poikkeamasta tasapainotilasta
- kaksoiskerroksen paksuudesta
- veden epäpuhtauksista ja vedessä tapahtuvista reaktioista.

Kaksoiskerrosteorian mukaan muodostuu veden ja ilman rajapintaan kaksoiskerros, jonka vedenpuoleinen osa on ilman kyllästämä ja ilmanpuoleinen osa vesihöyryn kyllästämä. (kuva 7). Kaksoiskerroksen haitallista vaikutusta voidaan vähentää saattamalla vesi tai ilma tai molemmat liikkeeseen.



Kuva 7. Kaksoiskerrosteorian periaate /25/
Fig. 7. The model of the film-theory /25/

Erilaisia ilmastintyypppejä ovat putousilmastimet, suihkuilmastimet, diffuusioilmastimet, mekaaniset ilmastimet ja paineilmastimet. Jälleenimeytysmenetelmässä on ilmastimena usein käytetty pelkkää rei'itettyä putkea (kuva 8). Putki voidaan sijoittaa maanpinnan yläpuolelle, jolloin ilmastus tehostuu.

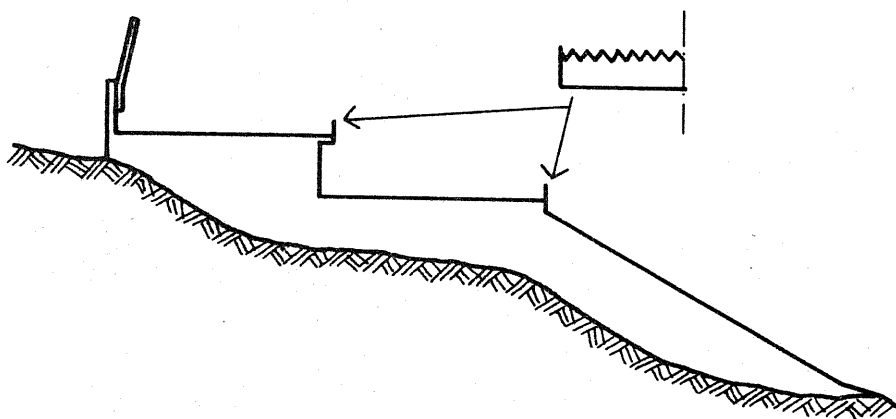


Kuva 8. Ilmastus rei'itetyn putken kautta
Fig. 8. Aeration through a pipe with holes

Ilmastuksen sijasta voidaan raudan ja mangaanin hapetukseen käyttää myös kemiallisia hapettimia. Käytetyimpiä ovat kloori ja kaliumpermanganaatti. Jälleenimeytyksessä ei näin tehokkaiden hapettimien käyttö ole tarpeellista.

Ilmastettu vesi johdetaan sepelisuodattimeen, jota pitkin se virtaa imeytysaltaaseen. Tätä vaihetta kutsutaan sepelisuodatuksi, vaikka vesi ei varsinaisesti suodatukaan sepelin läpi.

Sepelisuodattimen muodostaa sepelikerros, joka on muovin tai suodatinkankaan päällä. Suodattimia voidaan sijoittaa useita peräkkäin ja niiden välille voidaan tarpeen mukaan järjestää selkeytys. Sepelisuodattimeksi voidaan myös rakentaa erityinen betoniportaikko (kuva 9), jonka pinnalle levitetään sepelikerros.



Kuva 9. Keskeneräinen sepelisuodatinportaikko
Peräseinäjoella

*Fig. 9. A pre-treatment unit under construction
in the commune of Peräseinäjoki*

Osa raakaveden raudasta ja mangaanista saostuu sepelisuodattimeen. Saostuminen johtuu sekä hapettumisesta että bakteeritoiminnasta. Tutkimuksissa /7/ on todettu, että varsinkin Gallionella-lajin rihmat ovat yleisiä suodattimissa. Sepeli toimii hapettuneen rauta- ja mangaanisakan tarttumapintana sekä rauta- ja mangaanibakteerien kasvualustana.

Ilmastettu raakavesi voidaan johtaa myös rinnevalutukseen. Vesi valutetaan pitkin luonnollisen kasvillisuuden peitossa olevaa rinnettä. Osa raakaveden raudasta ja mangaanista saostuu ja pidättyy maanpinnalle. Rinnevalutuksesta vesi johdetaan joskus imeytysaltaan sijasta imeytysojaan.

Esikäsitteilyn ansiosta varsinaisen imeytysaltaan tukkeutuminen hidastuu.

4.23 Imeytysallas ja puhdasvesikaivo

Esikäsitelty raakavesi johdetaan imeytysaltaan tai joskus imeytysojan kautta maaperään.

Imeytysaltaan pohjalla on suodatinhiekkakerros. Raakavedessä vielä esikäsitteilyn jälkeen olevat rauta ja mangaani pidätyvät suodatinhiekkakerroksen. Biologinen toiminta on hiekkakerroksessa vilkasta. Bakteerit saostavat vedessä vielä olevan raudan ja mangaanin.

Puhdasvesikaivon sijoituspaikan valinta riippuu imeytysalueen pohjaveden laadusta.

Jos imeytysalueen pohjavesi on rauta- ja mangaanipitoista, on puhdasvesikaivo sijoitettava imeytysaltaiden viereen. Kaivosta saadaan käyttöön ainoastaan imeytetty vesi.

Mikäli imeytysalueen pohjavesi on raudan ja mangaanin suhteen hyvälaatuista, ei puhdasvesikaivon tarvitse olla välittömästi imeytysaltaan vieressä. Puhdasvesikaivon antoisuus on suurempi kuin imeytetty vesimäärä, sillä käyttöön voidaan ottaa myös alueen varsinainen pohjavesi.

4.24 Jälleenimeytyslaitoksen mitoitus

Jälleenimeytyslaitoksen mitoitusta varten on annettu ohje-arvoja lähteessä /7/. Annetut mitoitusarvot perustuvat tapauksiin, joissa veden rautapitoisuus on vaihdellut 1,5... 2,0 mg/l.

Jälleenimeytyslaitos mitoitetaan siten, että imeytystä voidaan jatkaa keskeytymättä läpi talven. Suodattimien puhdistamisvälin on oltava noin neljä kuukautta, jottei imeytysaltaan suodatinhiekkä eikä maaperä pääse jäätymään. Jos jäätyminen tapahtuu, suodattimien puhdistaminen ja imeytyksen jatkaminen vaikeutuvat.

Imeytysaltaan pinta-alan laskemiseksi on kehitetty kaava (4) /7/:

$$A = k \cdot Q \cdot Fe \quad (4)$$

A = imeytysaltaan pinta-ala (m^2)

k = kokemusperäinen kerroin, yleensä 0,4...0,5

Q = imeytettävä vesimäärä (m^3/d)

Fe = veden rautapitoisuus (mg/l)

Kaavassa (4) ei ole huomioitu yli 0,2 mg/l olevan mangaanipitoisuuden aiheuttamaa tukkeutumista.

Imeytysaltaan pohjalla oleva suodatinhiekkakerros on noin 0,5...1,0 m vahva. Sen olisi rakeisuudeltaan vastattava hidassuodatushiekkää /1/. Hidassuodatushiekan tulisi rakeisuudeltaan täyttää seuraavat ehdot. /30/:

- $d_{10} = 0,35 \text{ mm}$
- $d_{60} : d_{10} = 2,5$
- raekooltaan alle 0,2 mm ainesta on alle 1 %
- raekooltaan yli 2,0 mm ainesta on alle 1 %.

Sepelisuodattimeen tulevan sepelin sopiva raekoko on 30...70 mm. Hienoimman sepelin käyttö saattaa parantaa käsittelytulosta, mutta suodattimen tukkeutuminen nopeutuu ja puhdistaminen vaikeutuu.

Sepelisuodattimeen tarvittavan sepelin määrää voidaan arvioida kaavan (5) avulla /7/:

$$V = K \cdot Q \quad (5)$$

V = sepelin määrä (m^3)

K = kokemuseräinen kerroin, joka veden rauta- ja mangaanipitoisuudesta riippuen on yleensä 0,015...0,025

Q = imeytettävä vesimäärä (m^3/d)

Lopullinen jälleenimeytyslaitoksen mitoitus on selvitettävä laitosmittakaavaisten käsittelykokeiden yhteydessä.

4.25 S u o d a t t i m i e n p u h d i s t a m i n e n

Puhdistettavan veden rauta ja mangaani jäävät sepelisuodattimeen ja suodatinhiekan pinnalle. Kun rauta- ja mangaanisaostumakerros kasvaa liian suureksi, alkaa imeytyminen hidastua. Suodattimet on tällöin puhdistettava. Puhdistus suoritetaan 2-4 kertaa vuodessa.

Sepelisuodatin huuhdellaan vesisuihkulla, joka irrottaa sepelin saostunutta rauta- ja mangaanisakkaa. Sakka jää suodatinhiekkään. Allas puhdistetaan käsityönä. Pintakerroksessa oleva rauta- ja mangaanisaostuma poistetaan ja suodatinhiekkää käännellään jonkin verran.

5. JÄLLEENIMEYTYSMENETELMÄN KÄYTTÖ SUOMESSA

5.1 YLEISTÄ

Suomessa on tällä hetkellä käytössä kymmenkunta jälleenimeytyslaitosta. Vanhin laitos Vehkalahden Summassa on otettu käyttöön jo vuonna 1972. Tähän tutkimukseen on kerätty tietoja viideltä käytössä olevalta jälleenimeytyslaitokselta: Iisalmi, Joensuu, Peräseinäjoki, Taivassalo ja Tuusula.

5.2 TOIMINNASSA OLEVIA JÄLLEENIMEYTYSLAITOKSIA

5.21 Taivassalo

Taivassalon kunnassa otettiin jälleenimeytysmenetelmä käyttöön vuonna 1979. Raakavettä imeytetään keskimäärin $290 \text{ m}^3/\text{d}$. Puhdasta vettä pumputaan käyttöön noin $120 \text{ m}^3/\text{d}$.

Raakaveden otto ja jälleenimeytys tapahtuvat samalla pohjavesialueella. Raakaveden esikäsittelynä on ilmastus ja sepelisuodatus. Jälleenimeytys tapahtuu kahdesta imeytysaltaasta, joiden yhteispinta-ala on noin 400 m^2 . Imeytysaltaiden pohjalla on 20 cm vahvuinen suodatinhiekkakerros. Puhdasvesikaivo on imeytysaltaiden vieressä.

Pohjaveden rautapitoisuus imeytysalueella on $7,8 \text{ mg/l}$. Raakaveden rautapitoisuus on 14 mg ja mangaanipitoisuus $1,5 \text{ mg/l}$. Puhtaan veden rautapitoisuus on noin $0,1 \dots 0,2 \text{ mg/l}$ ja mangaanipitoisuus $0,2 \text{ mg/l}$. Taulukossa 1 on esitetty analyysituloksia Taivassalon jälleenimeytyslaitokselta.

Taulukko 1. Taivassalon kunnan jälleenimeytyslaitokselta otettujen näytteiden rauta- ja mangaanipitoituksia

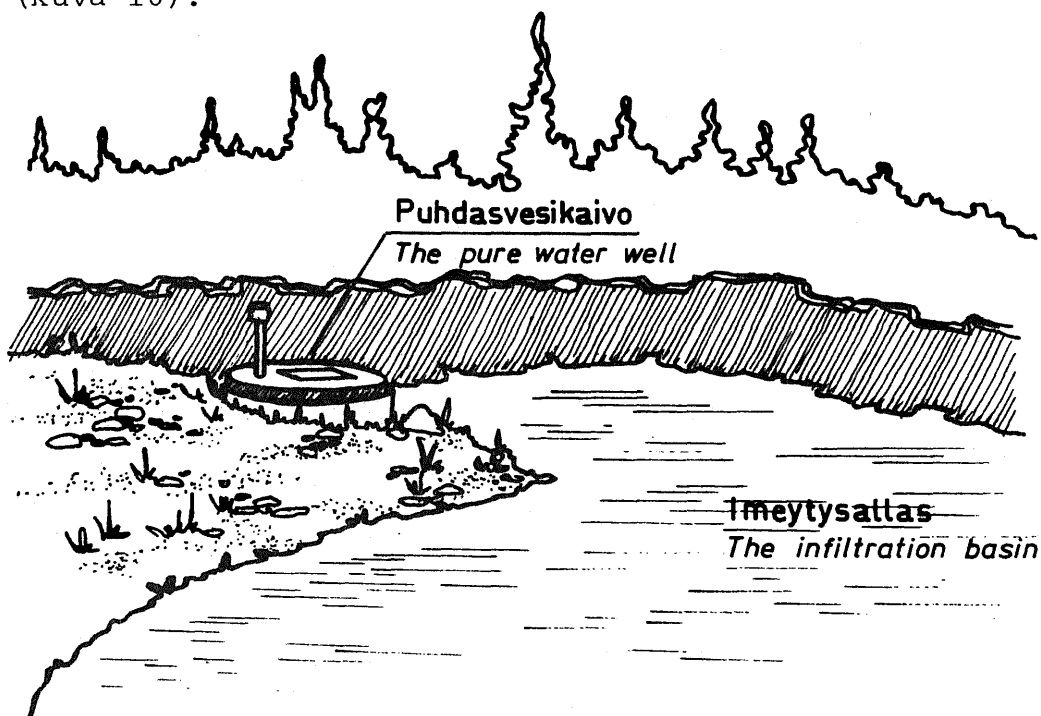
Table 1. Iron and manganese contents of water in the re-infiltration plant in the commune of Taivassalo

	Raakavesi <i>Raw water</i>	Esikäsitelty vesi <i>Pre-treated water</i>	Puhdasvesi <i>Pure water</i>
Fe mg/l	14	2,5	0,1...0,2
Mn mg/l	1,5	0,9	0,2

5.22 Peräseinäjoki

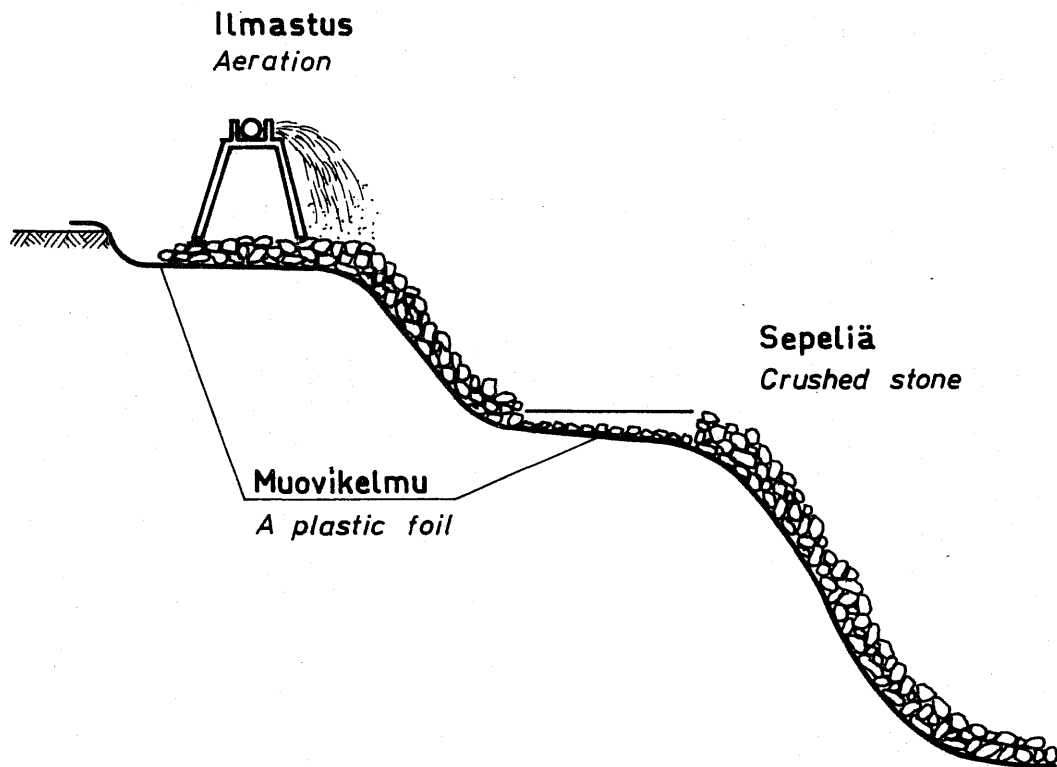
Peräseinäjoen kunnan pohjavedenottamolla ryhdyttiin jälleenimeytystä käyttämään vuonna 1979. Raakavettä imeytetään noin 500 m³/d. Puhtaan veden pumppaus on noin 400 m³/d.

Vedenottamo- ja jälleenimeytysalue ovat samalla pohjavesialueella. Raakavesikaivon ja imeytysalueen välimatka on noin 200 m. Puhdasvesikaivo on välittömästi imeytysaltaan vieressä (kuva 10).



Kuva 10. Puhdasvesikaivo on imeytysaltaan vieressä
Fig. 10. The pure water well is beside the infiltration basin

Esikäsitellynä on ilmastus ja sepelisuodatus (kuva 11). Raakavesi suihkuu noin 6 m pitkstä rei'itetystä valurautaputkesta sepelisuodattimelle. Muovin päällä olevaa sepeliä on noin 20 m³. Laitoksella otetaan käyttöön betoninen sepelisuodatusportaikko, joka on rakennettu nykyisen esikäsitelyyksikön viereen (kuva 9).



Kuva 11. Ilmastus ja sepelisuodatus
Fig. 11. Aeration and infiltration through crushed stone

Imeytysaltaan pinta-ala on noin 300 m². Altaan pohjalla on puolen metrin vahvuinen suodatinhiekkakerros. Suodatinhiekkakerros on raekooltaan 0...2 mm.

Raakaveden rautapitoisuus on 3,9 mg/l ja mangaanipitoisuus 0,36 mg/l. Puhtaan veden rautapitoisuus on laskenut arvoon 0,1 mg/l ja mangaanipitoisuus arvoon 0,2 mg/l. Taulukossa 2 on esitetty Peräseinäjoen kunnan jälleenimeytyslaitoksella saatuja analyysituloksia.

Jälleenimeytetty vesi alkaloidaan lipeällä ennen verkostoon johtamista.

Taulukko 2. Peräseinäjoen kunnan jälleenimeytyslaitokselta otettujen näytteiden analyysituloksia
Table 2. Quality of water in the re-infiltration plant in the commune of Peräseinäjoki

	Raakavesi <i>Raw water</i>	Esikäsitelty vesi <i>Pre-treated water</i>	Puhdasvesi <i>Pure water</i>
Fe mg/l	3,90	3,12	0,10
Mn mg/l	0,36	0,32	0,20
KMnO ₄ mg/l	6,6	5,4	3,1
CO ₂ mg/l	38	29	18

5.23 I i s a l m i

Iisalmen kaupungin Peltosalmen vedenottamolla on jälleenimeytystä käytetty vuodesta 1977 lähtien. Raakavettä imeytetään noin 900 m³/d. Puhtaan veden pumppaus on noin 1 400 m³/d.

Raakavesi pumputaan Lemmenlaakson pohjavedenottamolta. Se on noin kilometrin päässä Peltosalmen pohjavedenottamosta, jossa imeytys suoritetaan. Molemmat ottamot sijaitsevat samalla pitkittäisharjulla.

Osa raakavedestä esikäsitellään ilmastus-selkeytysportaikossa ja johdetaan imeytysaltaaseen. Ilmastus-selkeytysportaikossa

on neljä porrasta. Portaikon pituus on 25 m. Imeytysallas on pinta-alaltaan noin 250 m². Altaan pohjalla oleva suodatinhiekkakerros on puoli metriä vahva. Puhdasvesikaivot ovat imeytysaltaan vieressä.

Toinen puoli raakavedestä valutetaan pitkin harjun rinnettä imeytysojaan. Imeytysoja on 60 metriä pitkä ja kaksi metriä leveä. Ojan pohjalla on 20 cm vahva suodatinhiekkakerros. Puhdasvesikaivot ovat imeytysojasta noin 50 m etäisyydellä.

Imeytysalueen pohjavesi on raudatonta ja mangaanitonta. Raakaveden rautapitoisuus on 5,25 mg/l ja mangaanipitoisuus 0,21 mg/l. Puhtaan veden rautapitoisuus on 0,02 mg/l ja mangaanipitoisuus 0,03 mg/l.

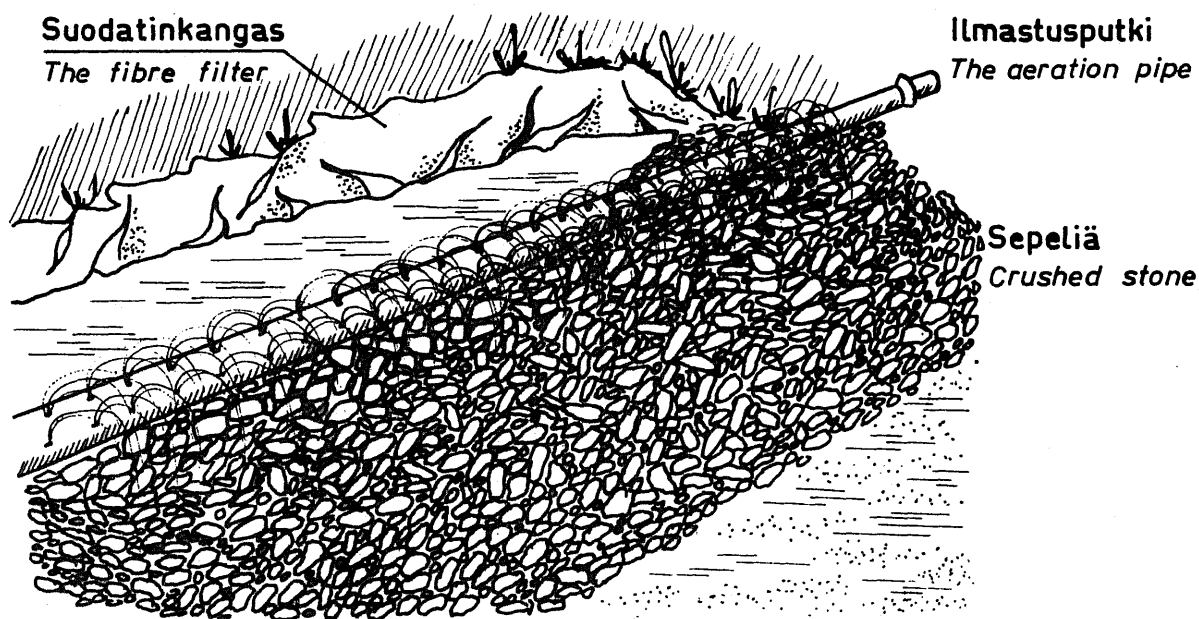
Jälleenimeytetty vesi alkaloidaan kalkilla ennen verkostoon pumppaamista.

5.24 T u u s u l a

Tuusulan kunnan Kellokosken vedenottamolla on jälleenimeytysmenetelmää käytetty vuodesta 1976 lähtien. Aikaisemmin vesi puhdistettiin VYR-menetelmällä. Käsittelyn menetettyä vähitellen tehonsa, siirryttiin vedenottamolla jälleenimeytykseen, joka on toiminut moitteettomasti. Raakavettä imeytetään ja puhdasta vettä pumputaan käyttöön keskimäärin 200 m³/d.

Raakaveden otto ja jälleenimeytys tapahtuvat samalla pohjavesialueella noin 170 m etäisyydellä toisistaan. Puhdasvesikaivo on imeytysaltaan vieressä.

Raakavesi esikäsitellään ilmastuksessa ja sepelisuodatuksessa. Ilmastus suoritetaan rei'itetyn valurautaputken avulla (kuva 12). Ilmastuksesta vesi virtaa suodatinkankaan päällä olevaa sepelikerrosta pitkin imeytysaltaaseen.



Kuva 12. Ilmastus ja sepelisuodatus
Fig. 12. Aeration and infiltration through crushed stone

Imeytysaltaan pinta-ala on 150 m^2 . Altaan pohjalla oleva suodatinhiekkakerros on puoli metriä vahva.

Imeytysalueen pohjaveden rautapitoisuus on $0,1 \dots 0,3 \text{ mg/l}$. Raakavesi on rautapitoisuudeltaan $2,6 \text{ mg/l}$ ja mangaanipitoisuudeltaan $0,49 \text{ mg/l}$. Puhtaan veden rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat molemmat laskeneet arvoon $0,04 \text{ mg/l}$.

Jälleenimeytetty vesi alkaloidaan lipeällä ennen verkostoon johtamista.

5.25 J o e n s u u

Joensuun kaupungin vesilaitoksella on jälleenimeytys ollut käytössä vuodesta 1979 lähtien. Raakaveden imeytys ja puhdastaan veden pumppaus ovat molemmat keskimäärin $5\,300\text{ m}^3/\text{d}$.

Raakaveden otto ja jälleenimeytys suoritetaan samalla pohjavesialueella. Raakavesikaivot, joita on kolme kappaletta, ovat noin 150 m etäisyydellä imeytysalueesta. Puhdas vesi pumpputaan kolmesta kaivosta, joista yksi sijaitsee imeytysaltaan vieressä ja kaksi raakavesikaivojen läheisyydessä.

Raakavesi esikäsitellään ilmastuksella ja rinnevalutuksella. Ilmastus suoritetaan rei'itetyllä putkella. Ilmastettu vesi valutetaan rinnettä pitkin imeytysaltaaseen, jonka pinta-ala on 900 m^2 . Altaan pohjalle on sijoitettu puolen metrin vahvuinen fillerikerros suodatinhiekaksi.

Raakaveden rautapitoisuus vaihtelee välillä $1,3\ldots4,3\text{ mg/l}$. Puhtaan veden rautapitoisuus on $0,01\ldots1,2\text{ mg/l}$. Yli $1,0\text{ mg/l}$ olleet puhtaan veden rautapitoisuudet on todettu raakavesikaivojen läheisyydessä olleessa kaivossa. Kaivon sijainti on imeytysaltaan suhteen epäedullinen, koska kaivoon ilmeisesti pääsee virtaamaan myös alueen alkuperäistä rautapitoista vettä. Verkostossa on veden rautapitoisuus noin $0,4\text{ mg/l}$.

Jälleenimeytetty vesi alkaloidaan kalkilla ennen verkostoon johtamista.

5.3 KÄYTTÖKOKEMUKSIA TOIMINNASSA OLEVILTA LAITOKSILTA

5.31 V e d e n l a a t u

Ruotsissa olevilta jälleenimeytyslaitoksilta saatuja puhdis-

tustuloksia on kerätty taulukkoon 3. Suomessa toimivien laitojen puhdistustuloksia on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 3. Ruotsin jälleenimeytyslaitoksilla saatuja puhdistustuloksia /38/
 Table 3. Purification results in re-infiltration plants in Sweden /38/

Kunta <i>Commune</i>	Fe (mg/l)		Mn (mg/l)		Kapasiteetti <i>Capacity</i> (m ³ /d)
	Raakavesi <i>Raw water</i>	Puhdasvesi <i>Pure water</i>	Raakavesi <i>Raw water</i>	Puhdasvesi <i>Pure water</i>	
Broxholm	1,2	0,1	0,3	<0,05	2 500
Frövi	2,1	0,1	0,15	<0,05	300
Gislaved	0,2	0,1	0,3	<0,05	3 000
Långshyttan	1,5	0,1	0,4	<0,05	1 700
Västerhaninge	0,4	0,1	0,2	<0,05	2 500

Taulukko 4. Suomen jälleenimeytyslaitoksilla saatuja puhdistustuloksia
 Table 4. Purification results in re-infiltration plants in Finland

	Fe (mg/l)		Mn (mg/l)		Pumppausteho (m ³ /d) <i>Pumping efficiency</i>	
	Raakavesi <i>Raw water</i>	Puhdasvesi <i>Pure water</i>	Raakavesi <i>Raw water</i>	Puhdasvesi <i>Pure water</i>	Raakavesi <i>Raw water</i>	Puhdasvesi <i>Pure water</i>
Taivassalo	14	0,1-0,2	1,5	0,2	200	120
Peräseinäjoki	3,9	0,1	0,36	0,2	500	400
Iisalmi	5,25	0,02	0,21	0,03	900	1400
Tuusula	2,6	0,04	0,49	0,04	200	200
Joensuu	0,3-4,3	0,01-1,2			5300	5300

Puhdistustulokset ovat sekä raudan että mangaanin suhteen hyviä. Puhdistustulos ei ole riippuvainen raakaveden rauta- ja mangaanipitoisuuksista. Raakaveden rauta- ja mangaanipitoisuudet on kuitenkin huomioitava laitoksen mitoituksessa.

Kun imeytysalueen pohjavesi on rautapitoista, on puhtaan veden pumppaus laitoksilla yleensä pienempi kuin imeytetty vesimäärä (Taivassalo ja Peräseinäjoki). Imeytysalueen pohjaveden ollessa hyvälaatuista voidaan puhdasta vettä pumpata enemmän kuin mitä vettä imeytetään (Iisalmi).

5.32 Suodattimien puhdistamis- tarve

Suodattimia on käytössä olevilla laitoksilla jouduttu puhdistamaan seuraavasti:

- Taivassalo
Sepelisuodatin puhdistetaan joka toinen kuukausi vesisuihkulla. Imeytysaltaan suodatinhiekkä puhdistetaan 6-12 kk välein
- Peräseinäjoki
Sepelisuodatin puhdistetaan joka toinen kuukausi ja imeytysaltaan suodatinhiekkä 4-6 kk välein
- Iisalmi
Suodattimet ja imeytysoja puhdistetaan 4 kk välein. Puhdistus suoritetaan lapiotyönä paitsi joka kolmannella kerralla traktorikaivurilla
- Tuusula
Suodattimet puhdistetaan 6-12 kk välein
- Joensuu
Suodattimia ei vielä ollut tarvinnut puhdistaa.

Suodattimien puhdistamisessa on ollut ongelmia, mikäli se on tehty talviaikana (Taivassalo). Sekä puhdistaminen että imeytyksen jatkaminen on tällöin ollut vaikeaa. Puhdistaminen pitäisikin suorittaa juuri ennen pakkaskautta.

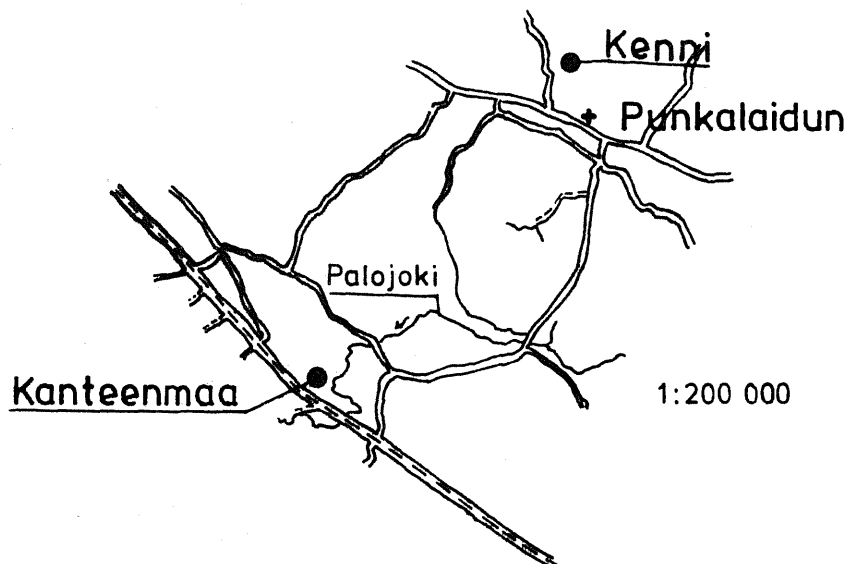
Suodattimien puhdistusväli saadaan halutun pituiseksi mitoittamalla sepelisuodatus ja imeytysallas sopiviksi pumppausmääriin verrattuna. Lopullinen mitoitus voidaan suorittaa vain laitosmittakaavaisen jälleenimeytyskokeen perusteella.

6. JÄLLEENIMETYYSKOE
PUNKALAITUMELLA

6.1 TUTKIMUSALUE

6.11 Kanteenmaan pohjaveden-
ottamo

Punkalaitumen kunnalla on kaksi pohjavedenottamo: Kenni ja Kanteenmaa. Kennin pohjavedenottamo sijaitsee kirkonkylässä. Kennin antoisuuden käytyä riittämättömäksi jouduttiin vuonna 1976 rakentamaan uusi pohjavedenottamo Kanteenmaahan, noin 12 km päähän kirkonkylästä (kuva 13).

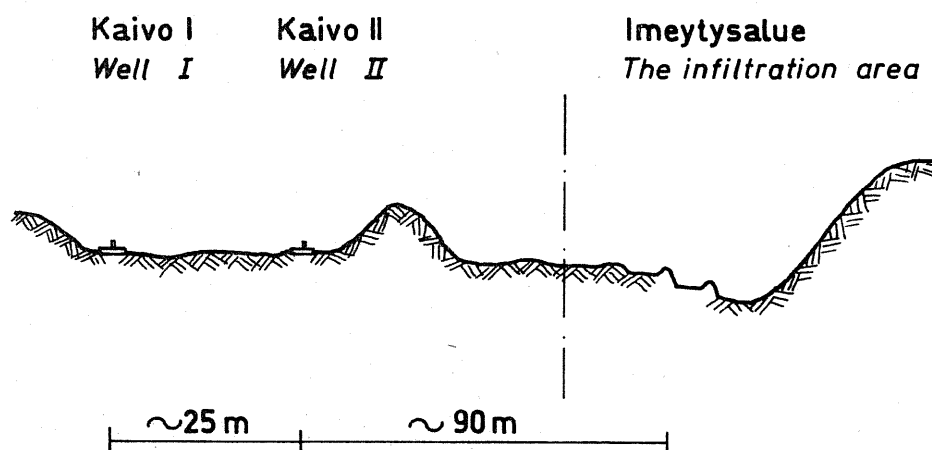


Kuva 13. Kanteenmaan ja Kennin pohjavedenottamot
Punkalaitumella

*Fig. 13. Kanteenmaa and Kenni, ground water works
in the commune of Punkalaidun*

Kanteenmaan alueella on suoritettu pohjavesitutkimuksia vuosina 1972-1973 /22/. Tutkimusten perusteella suoritettiin koepumppaus. Koepumppauspaikalle sekä siitä noin 25 metrin etäisyydelle rakennettiin kaksi siiviläputkikaivoa (kuva 14).

Kaivojen yhteiseksi antoisuudeksi arvioitiin keskimäärin $1\,000\text{ m}^3/\text{d}$. Käytössä on ollut etupäässä kaivo I. Vuonna 1979 oli vedenotto keskimäärin $144\text{ m}^3/\text{d}$.



Kuva 14. Etualalla on kaivo I ja taaempana kaivo II. Imeytyskoe tehtiin vedenottamon takana olevassa hiekkakuopassa

Fig. 14. The ground water works of Kanteenmaa. There is well I in the foreground and well II farther. The re-infiltration test was carried out in the gravel pit behind the water works

6.12 Alueen maaperä

Kanteenmaan pohjavedenottamo sijaitsee alueella, joka kuuluu luode-kaakkosuuntaiseen harjujaksoon. Kairauksien mukaan /22/ Lauttakylän suunnasta kaakkoa kohti kulkeva harjujakso katkeaa Palojoen kohdalla, joka on noin kilometri ottamolta kaakkoon päin. Palojoen kaakkoispuolella maalaji on hiesuista soraa ja moreenia.

Palojoen luoteispuolella lähinnä jokea olevassa harjun osassa on maan pinnassa runsaan metrin vahvuinen hiekka- ja sorakerros ja sen alla hiesuista ja hietaista hiekkaa. Luoteeseen päin mentäessä harju levenee ja hiekka- ja sorakerrokset vahvenevat. /22/.

Pohjavedenottamon lähialueiden maaperä on pääasiassa hiekkaa ja soraa. Kairauksen mukaan esiintyy myös hienompien maalaajien kerrostumia sekä moreenia. Moreeni esiintyy todennäköisesti linssimäisinä muodostumina lajittuneiden aineiden joukossa. Syvimmät kairaukset ovat ulottuneet 20-30 metrin syvyydelle. Kallioperää ei kairauksissa ole varmuudella tavattu. /24/.

Kuvassa 15 esitettyjen tutkimuspisteiden 13, 16 ja 17 kairaus-
tulokset ovat seuraavat /24/:

Piste 13	Piste 16	Piste 17
2,7-3,2 siHk	0,0-3,0 Hk	0,0-1,2 KiSr
3,2-4,1 Mr	3,0-8,5 HHk	1,2-6,6 Hk
4,1-5,9 HHk	8,5-10,4 KiHHk	6,6-7,1 Mr
5,9-6,2 HkSr	10,4-11,1 Mr	7,1-10,5 HHk
6,2-7,1 Hk	11,1-13,0 SiHk	10,5-11,5 Mr
7,1-8,9 Si	13,0 kivi vastassa	11,5 kivi vastassa
8,9-9,4 Mr		
9,4-15,2 Hk		
15,2-19,4 Mr		
19,4 kiilautui		

6.13 P o h j a v e d e n l a a t u

Vuonna 1972 tehtyjen koepumppausten perusteella todettiin kaivojen I ja II sijaintipaikoista otettujen näytteiden vesi hygienisessä suhteessa moitteettomiksi, vähärautaisiksi ja

mangaanittomiksi. Käytön aikana on veden rautapitoisuus kuitenkin kohonnut. Nousu on ollut suuri varsinkin kaivossa II. Kaivojen rautapitoisuuksien kehitys on esitetty taulukossa 5.

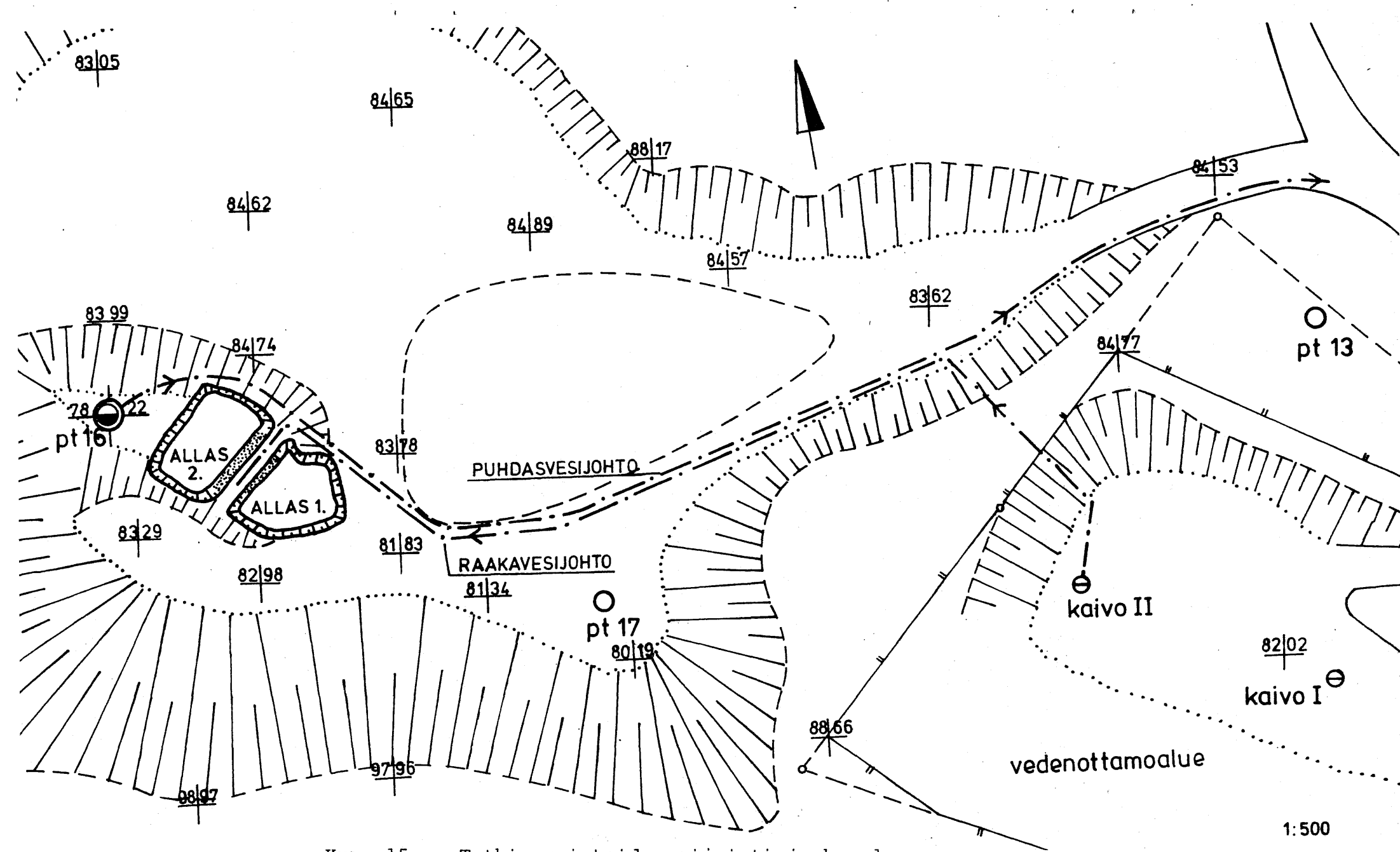
Taulukko 5. Rautapitoisuuksia Kanteenmaan pohjavedenottamolla
Table 5. Iron contents in the water works of Kanteenmaa

Päivä <i>Date</i>	Kaivo I <i>Well I</i>	Fe mg/l	Kaivo II <i>Well II</i>
18.12.1972	0,12		0,41
01.07.1977	0,05		
13.06.1978	0,07		
05.05.1979	0,26...0,31		1,09...1,19
04.06.1980			1,20

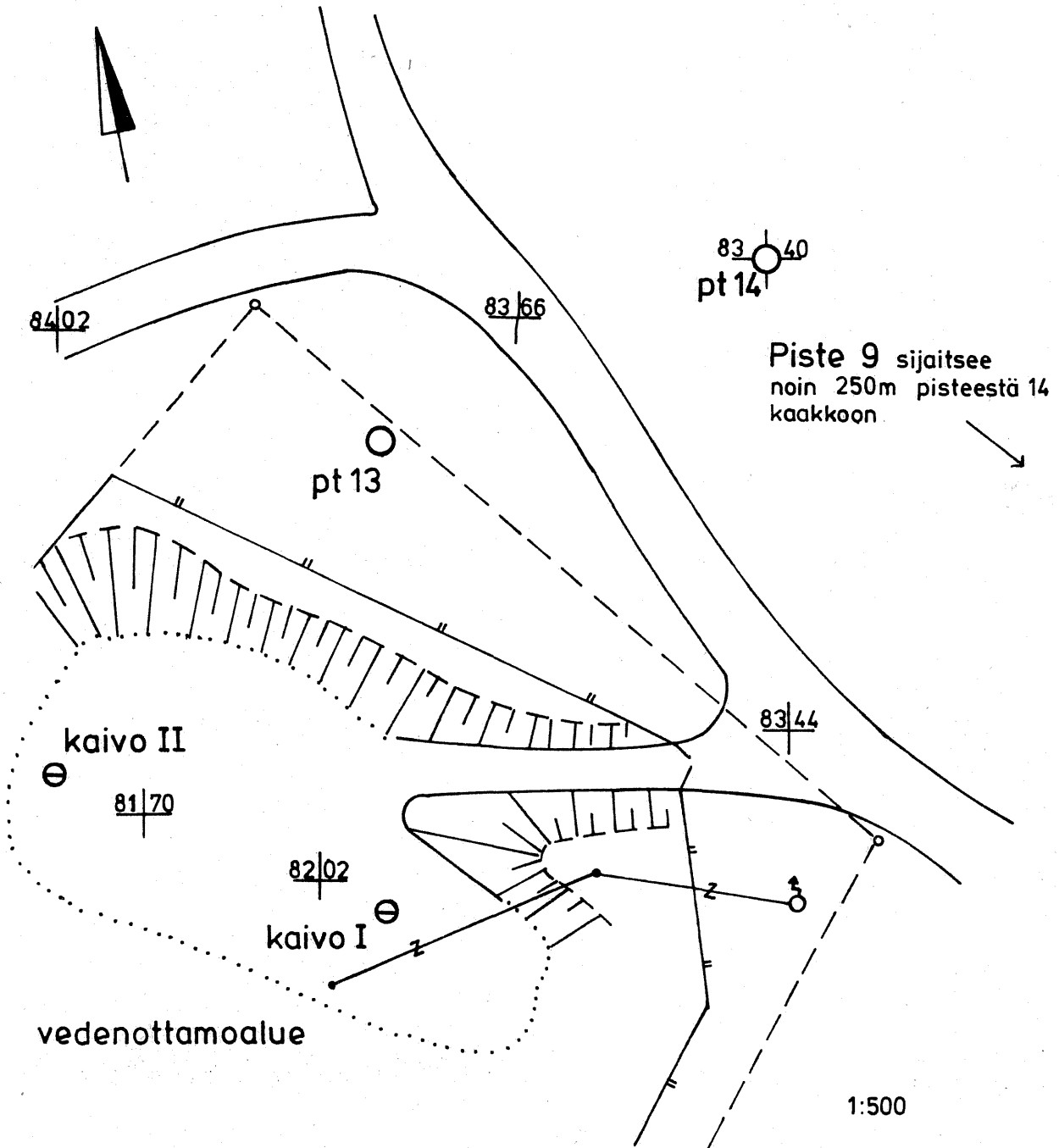
Keväällä 1980 tehtiin Kanteenmaan alueella kaivonpaikkatutkimus /24/. Tutkimuksen yhteydessä koepumpattiin pisteet 9, 14 ja 16. Pisteiden sijainti on esitetty kuvissa 15 ja 16. Kyseisistä pisteistä otettujen vesinäytteiden rauta- ja mangaanipitoisuudet on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Tutkimusalueen pohjaveden rauta- ja mangaanipitoisuuksia
Table 6. Iron and manganese contents in the investigation area

Piste <i>Point</i>	Fe mg/l	Mn mg/l
9	0,31...1,29	0,01...0,02
14	0,87...4,03	0,01...0,10
16	0,015...0,025	0,004...0,006



Kuva 15. Tutkimuspisteiden sijainti ja koealueen asemapiirustus
 Fig. 15. Investigation points and the plan of the investigation area



Kuva 16. Tutkimuspisteiden sijainti
Fig. 16. Investigation points

6.2 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN

6.21 Y l e i s t ä

Kanteenmaan pohjavedenottamolta saatavan veden rautapitoisuuden kohoamisen takia ryhdyttiin paikalle suunnittelemaan raudanpoistomenetelmää. Laitoksella päätettiin tutkia jälleenimeytysmenetelmän soveltuvuutta. Jälleenimeytyskoe suoritettiin Punkalaitumen kunnan ja Tampereen vesipiirin vesitoimiston yhteistyönä.

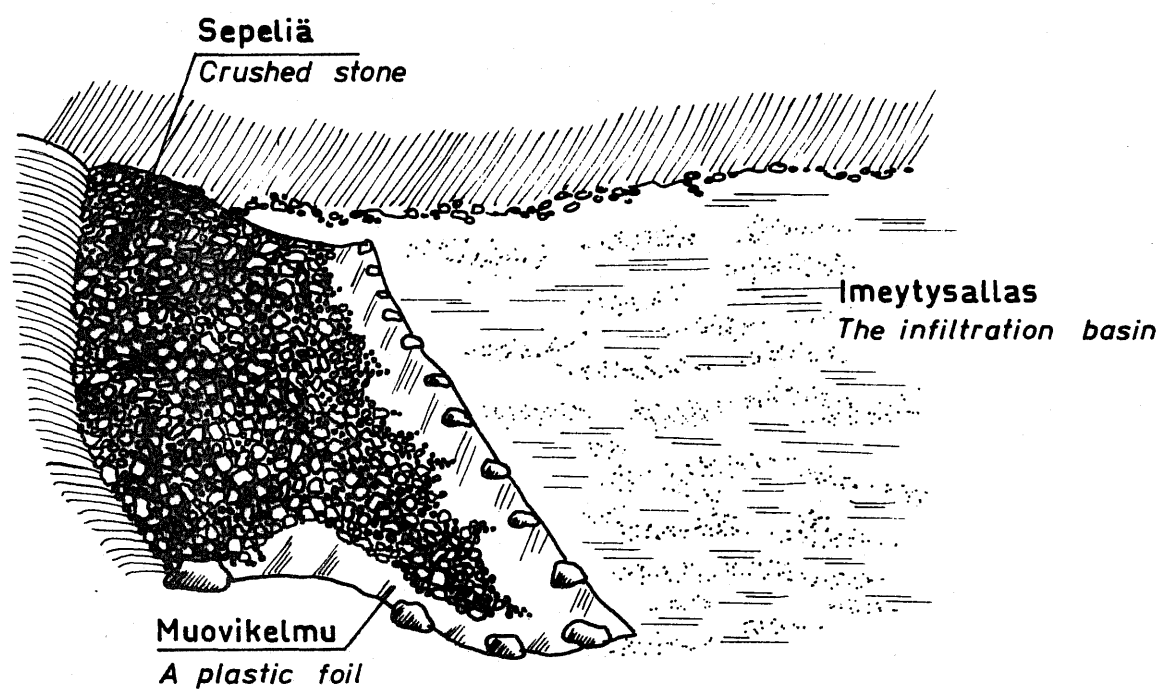
6.22 K o e j ä r j e s t e l y t

Alueella tehtyjen pohjavesitutkimusten perusteella valittiin jälleenimeytysalueeksi sorakuoppa pohjavedenottamon länsipuolella. Jälleenimeytyksen koejärjestelyt selviävät kuvasta 15.

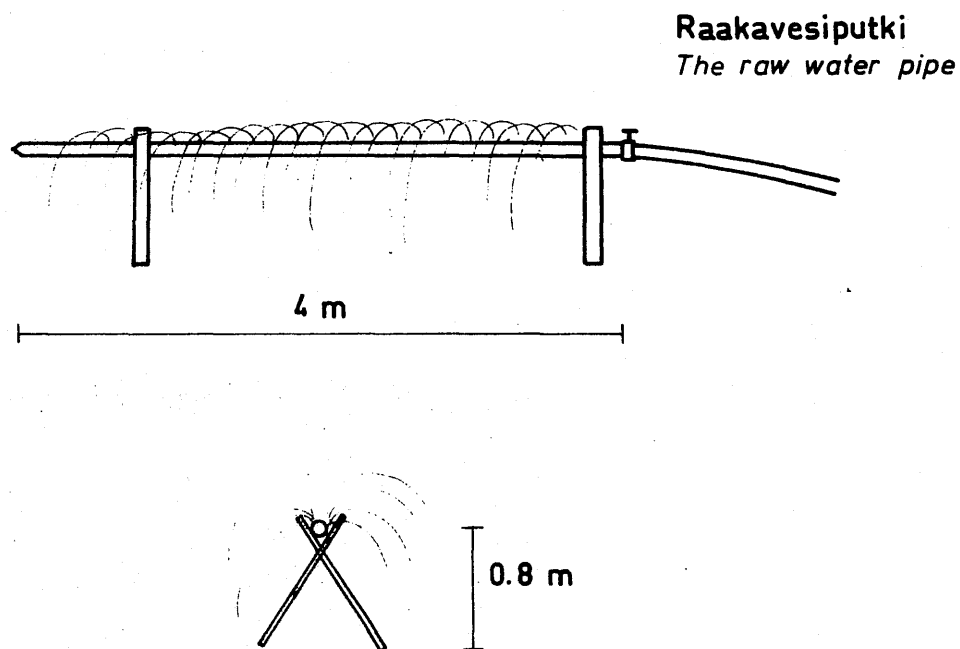
Raakavesi pumputtiin kaivosta II. Imeytetty puhdas vesi pumputtiin pisteen 16 (kuva 15) ympärille juntatuista kolmesta siiviläputkesta. Putket asennettiin 9 metrin syvyyteen. Putken siiviläosan pituus oli neljä metriä.

Paikalle tehtiin kaksi noin 100 m² imeytysallasta siten, että altaan 1 pohjan taso on noin metrin korkeammalla kuin altaan 2. Altaiden pohjille asennettiin 40 cm vahvuiset suodatinhiekkakerrokset.

Imeytysaltaiden välille rakennettiin pengeri, joka peitettiin muovilla. Muovin päälle levitettiin sepelikerros sepelisuodattimeksi (kuva 17). Raakavesi johdettiin penkereelle asetetun ilmastimen kautta sepelisuodattimeen. Ilmastimena oli pukkien päälle nostettu siiviläputki (kuva 18).



Kuva 17. Sepelisuodatin
Fig. 17. Crushed stone on plastic foil



Kuva 18. Ilmastus
Fig. 18. Aeration

6.23 K o k e e n s u o r i t u s

Jälleenimeytyskoe suoritettiin ajalla 29.5.1980-25.8.1980. Varsinaisen kokeen päätyttyä jatkoi Punkalaitumen kunta imeytystä väliaikaisesti koekalustolla.

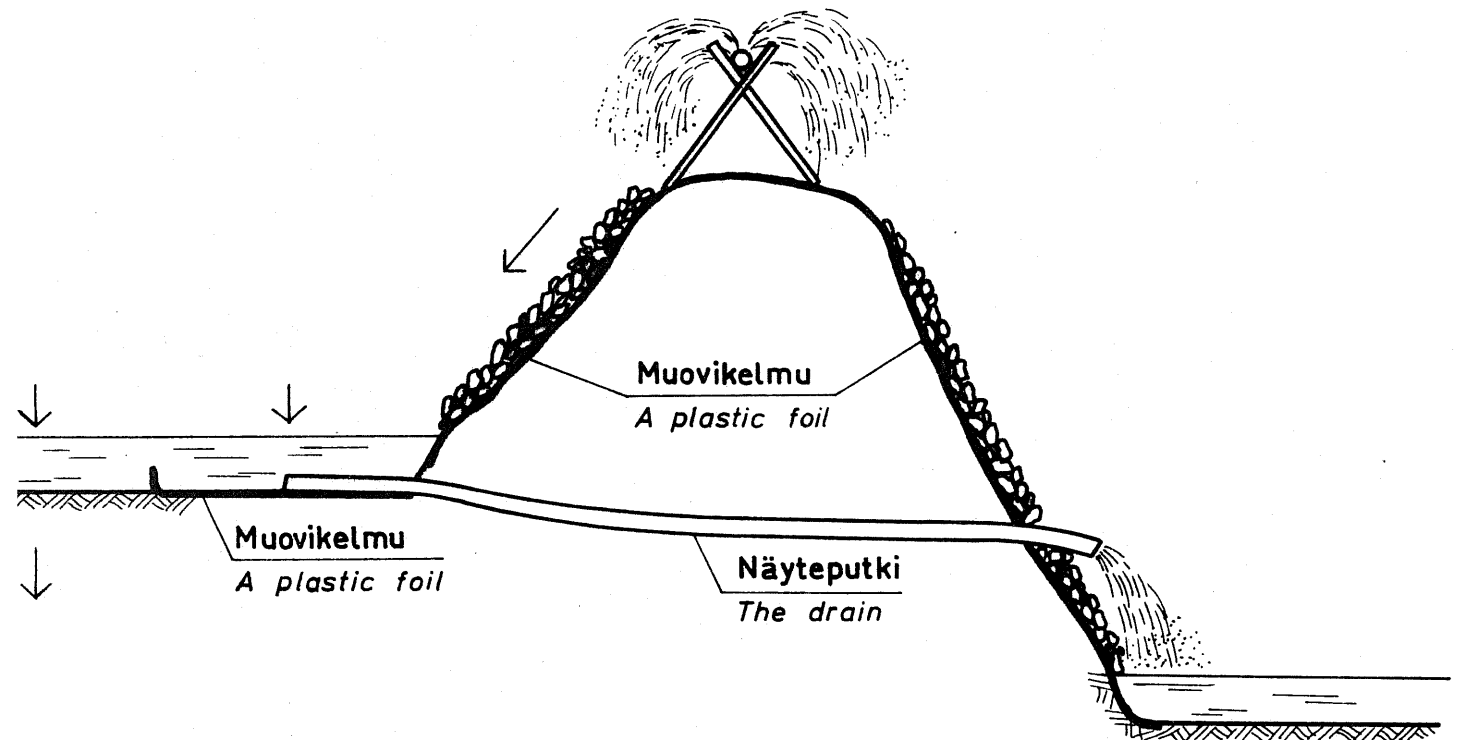
Ennen raakaveden imeyttämisen aloittamista pumpputtiin puhdasta vettä kaksi vuorokautta siten, että pohjaveden pinta pumppauspaikalla laski 27 cm. Raakavettä pumpputtiin kokeen alussa keskimäärin $500 \text{ m}^3/\text{d}$. Pumppausmäärä nostettiin kesäkuun loppuun mennessä arvoon $730 \text{ m}^3/\text{d}$.

Puhdasta vettä pumpputtiin koko kokeen ajan noin $860 \text{ m}^3/\text{d}$. Vesi johdettiin aluksi 250 metrin päähän avo-ojaan, jonne sijoitettiin mittapato. Kulutukseen menevä vesi otettiin kaivosta I. Sen korkean rautapitoisuuden takia ryhdyttiin osa jälleenimeytetystä puhtaasta vedestä johtamaan suoraan kaivoon I ja sen kautta kulutukseen.

Pohjaveden pinta pumppauspaikalla laski kokeen aikana yhteensä 63 cm. Suurin osa laskusta on pohjaveden pinnan luonnollista alenemista normaalia kuivemman kesän takia.

6.24 K o k e e n s e u r a n t a

Molempien imeytysaltaiden kulmaan suodatinhiekkakerroksen alle asetettiin muovi ja sen päälle muoviputki. Putket johdettiin altaiden ulkopuolelle siten, että suodatinhiekan läpi imeytyneestä vedestä pystyttiin saamaan vesinäytteet (kuva 19).



Kuva 19. Näyteputki, josta virtaa suodattunutta vettä
Fig. 19. Infiltrated water flows from the drain.

Veden laatua seurattiin kerran viikossa otetuista vesinäytteistä. Ne otettiin kaivon II raakavedestä, esikäsitellystä vedestä, suodatinhiekkakerroksen läpäisseestä vedestä, pumppauspaikalta puhtaasta vedestä sekä kaivosta I kulutukseen menevästä vedestä.

Kaikista vesinäytteistä tutkittiin rauta- ja mangaanipitoisuus, happipitoisuus, pH, väri ja KMnO_4 -kulutus. Lisäksi tutkittiin seuraavia tekijöitä: vapaa hiilihappo, sähköjohtokyky, kokonaiskovuus, kloridi, ammonium, nitriitti ja nitraatti sekä veden hygieenisuus.

Pohjaveden pinnan vaihteluita seurattiin pumppauspaikalla havaintoputkesta sekä lähialueiden kaivoista. Kokeen alussa vaihdeltiin raakaveden imeytysmääriä ja puhtaan veden pumppausmääriä. Samalla seurattiin pohjavedenpinnan korkeutta pumppauspaikalla. Kun raakaveden imeytysmäärää pienennettiin ja/tai puhtaan veden pumppausmäärää suurennettiin alkoi pohjaveden pinta laskea. Päinvastaisessa tapauksessa pohjaveden pinta alkoi nousta. Näin pystyttiin toteamaan, että imeytetty pohjavesi virtaa pumppauspaikalle.

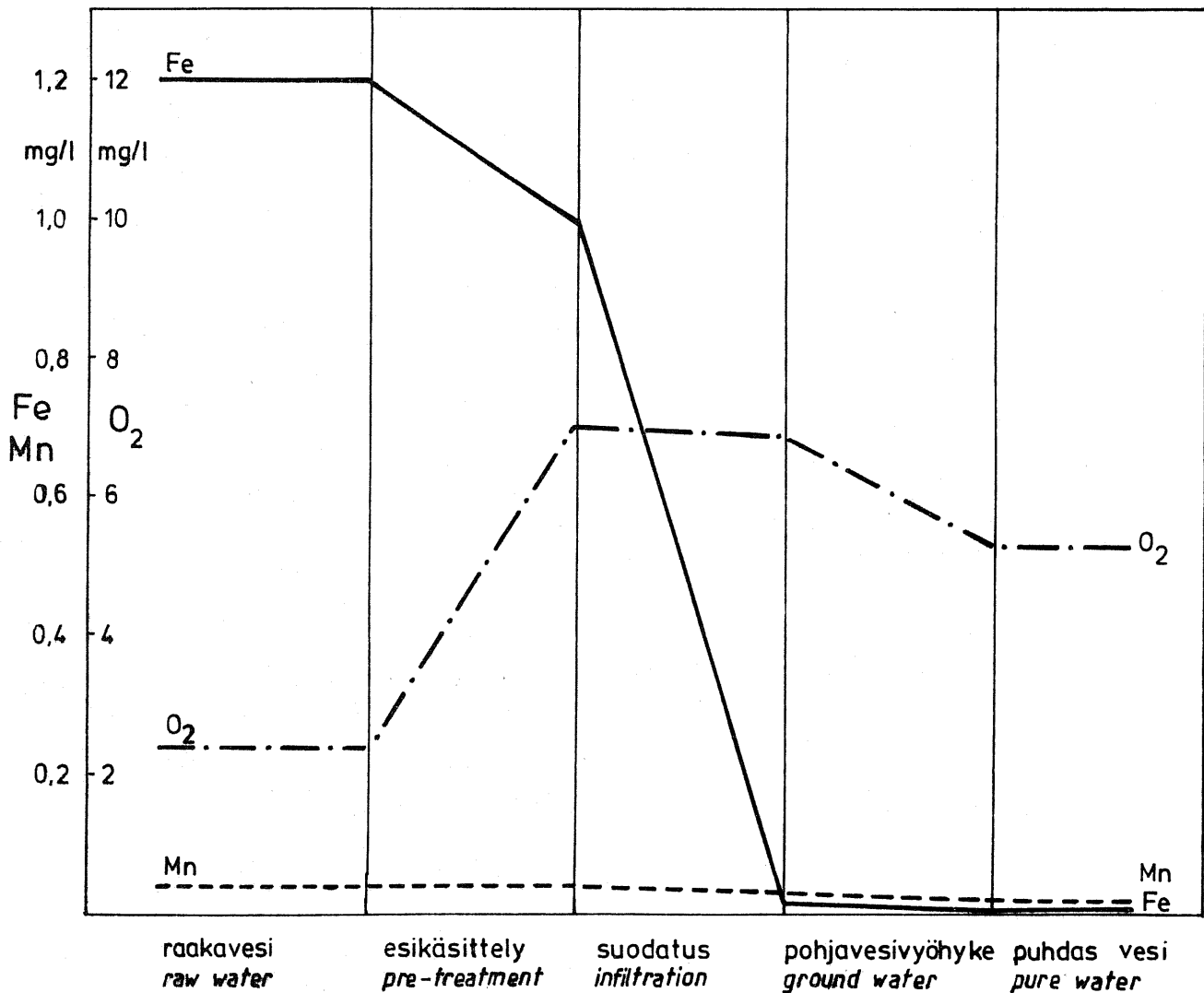
6.3 KOETULOKSET

6.31 Y l e i s t ä

Jälleenimeytyskokeen aikana tehtyjen vesianalyysien tulokset on esitetty liitteessä 1.

Kuvassa 20 on jälleenimeytyskokeessa 25.07.1980 todettujen analyysitulosten perusteella piirretty kaavio veden laadun muutoksista jälleenimeytysprosessin aikana. Tällä yksittäisellä näytteenottokerralla saadut tulokset edustavat hyvin kokeessa saatuja tuloksia.

Pääosa raudasta on jäänyt suodatinhiekkakerrokseen. Suodatuneen veden ja puhtaan veden rautapitoisuudet ovat pieniä. Mangaanipitoisuus on jälleenimeytyksessä pysynyt lähes sama. Raakaveden happipitoisuus on ilmastuksella saatu nousemaan noin kolminkertaiseksi.



Kuva 20. Veden laadun muuttuminen jälleenimeytyksessä (25.07.1980)

Fig. 20. The changes in quality of water during re-infiltration (25.07.1980)

6.32 R a u t a p i t o i s u u s

Raakaveden rauta pystyttiin poistamaan jälleenimeytyksellä hyvin. Raakavedestä, esikäsitellystä vedestä, suodattuneesta vedestä ja puhtaasta vedestä tehdyt rautamääritykset on esitetty kuvassa 21.

Esikäsitellyssä raakaveden rautapitoisuus väheni arvoon 0,910...1,000 mg/l. Rautapoistuma oli esikäsitellyssä keskimäärin 20 %.

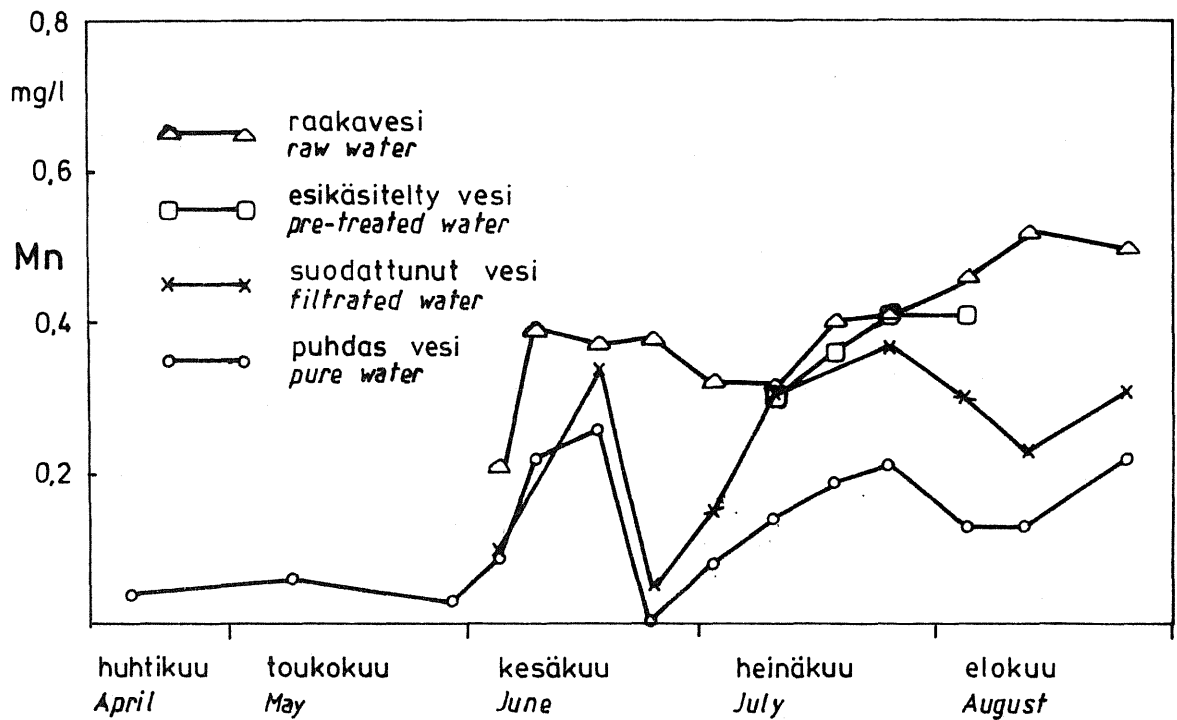
Suodattuneen veden suurin rautapitoisuus oli 0,2 mg/l. Tämä arvo todettiin, kun raakavettä oli viikon ajan imeytetty vain päivisin. Ensimmäisen näytteenottokerran jälkeen aloitettiin jatkuva imeytys. Suodattuneen veden rautapitoisuus oli tämän jälkeen välillä 0,001...0,094 mg/l, kymmenen analyysin keskiarvo oli 0,050 mg/l. Suurimmat arvot todettiin, kun otettiin uusi imeytysallas käyttöön.

Pohjaveden laatua tarkkailtiin puhtaan veden pumppauspaikalla ennen imeytyskokeen aloittamista. Puhtaan veden rautapitoisuus oli 0,096 mg/l. Puhtaan veden rautapitoisuus laski heti raakaveden imeyttämisen alettua. Rautapitoisuus vaihteli välillä 0,003...0,016 mg/l, arvot olivat lähes koko kokeen ajan hieman alempia kuin suodattuneessa vedessä.

Imeytyskokeen aikana seurattiin myös kulutukseen menevän veden rautapitoisuutta kaivossa I. Kesäkuun lopulla oli rautapitoisuus 0,560 mg/l. Heinäkuun puoleen väliin mennessä se nousi arvoon 0,710 mg/l, jonka jälkeen kaivoon I ryhdyttiin johtamaan jälleenimeytettyä vettä. Kaivon I veden rautapitoisuus laski arvoon 0,110 mg/l.

6.33 M a n g a a n i p i t o i s u u s

Kanteenmaan pohjavedenottamolla eivät mangaanipitoisuudet ole haitallisen suuria. Jälleenimeytyskokeen aikana seurattiin kuitenkin myös mangaanin poistumista. Raakaveden, esikäsitellyn veden, suodattuneen veden ja puhtaan veden mangaanipitoisuudet kokeen aikana on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. Veden mangaanipitoisuudet jälleenimeytyskokeen aikana

Fig. 22. The mangan contents of water during the re-infiltration test

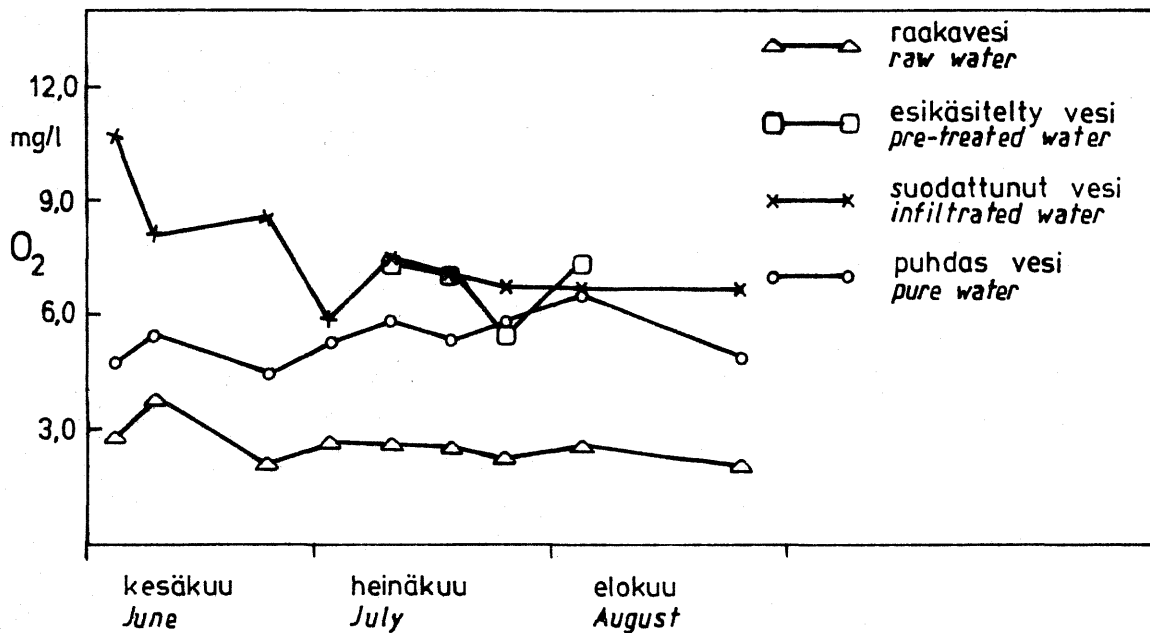
Raakaveden mangaanipitoisuus vaihteli välillä 0,021... 0.052 mg/l. Kaikki arvot olivat lääkintöhallituksen alemman suositusrajan arvoa 0,1 mg/l pienempiä.

Esikäsitteily ei vaikuttanut mangaanipitoisuuteen käytännöllisesti katsoen ollenkaan. Myöskin suodatuksessa mangaanipitoisuus laski vain vähän. Mangaanipitoisuuden pieneneminen oli jälleenimeytyksessä keskimäärin alle 20 %. Mangaani poistui sitä paremmin mitä kauemmin imeytystä jatkettiin samaan altaaseen. Osaksi tämä johtui siitä, että parin käyttöviikon kuluessa muodostui imeytysaltaaseen ilmeisesti mangaanibakteerikanta, joka pystyi saostamaan raakaveden mangaania. Toinen syy parempaan mangaanireduktioon oli se, että viipymä altaan tukkeutuessa kasvoi ja mangaani, joka vaatii pitemmän hapetusajan kuin rauta, ehti hapettua.

Puhtaassa vedessä mangaanipitoisuus oli välillä 0,000... 0,026 mg/l. Puhtaan veden mangaanipitoisuus nousi heti imeytyksen alettua. Pitoisuuksien vaihtelu oli suunnilleen sama kuin suodattuneessa vedessä, mutta pitoisuusarvot olivat hieman pienempiä.

6.34 H a p p i p i t o i s u u s

Veden happipitoisuutta seurattiin kentällä tehdyin mittauksin. Saadut mittaustulokset on esitetty kuvassa 23.



Kuva 23. Veden happipitoisuudet jälleenimeytyskokeen aikana

Fig. 23. The oxygen contents of water during the re-infiltration test

Raakaveden happipitoisuus vaihteli välillä 2,0...3,7 mg/l. Analyysien keskiarvo oli 2,6 mg/l. Esikäsitellyssä veden happipitoisuus nousi arvoihin välillä 5,4...7,4 mg/l. Käytetty ilmastusjärjestely osoittautui siis tarpeeksi tehokkaaksi. Happipitoisuuden kasvu oli esikäsitellyssä keskimäärin 4,4 mg/l.

Suodattuneen veden happipitoisuus vaihteli välillä 6,7...10,7 mg/l. Pitoisuus oli suunnilleen sama kuin imeytysaltaassa ollessa esikäsitellyssä vedessä.

Puhtaan veden happipitoisuus oli keskimäärin 5,4 mg/l, ja se vaihteli välillä 4,4...6,8 mg/l. Happipitoisuus oli noin kaksinkertainen raakaveteen nähden ja noin kolme neljäsosaa suodattuneen veden happipitoisuudesta.

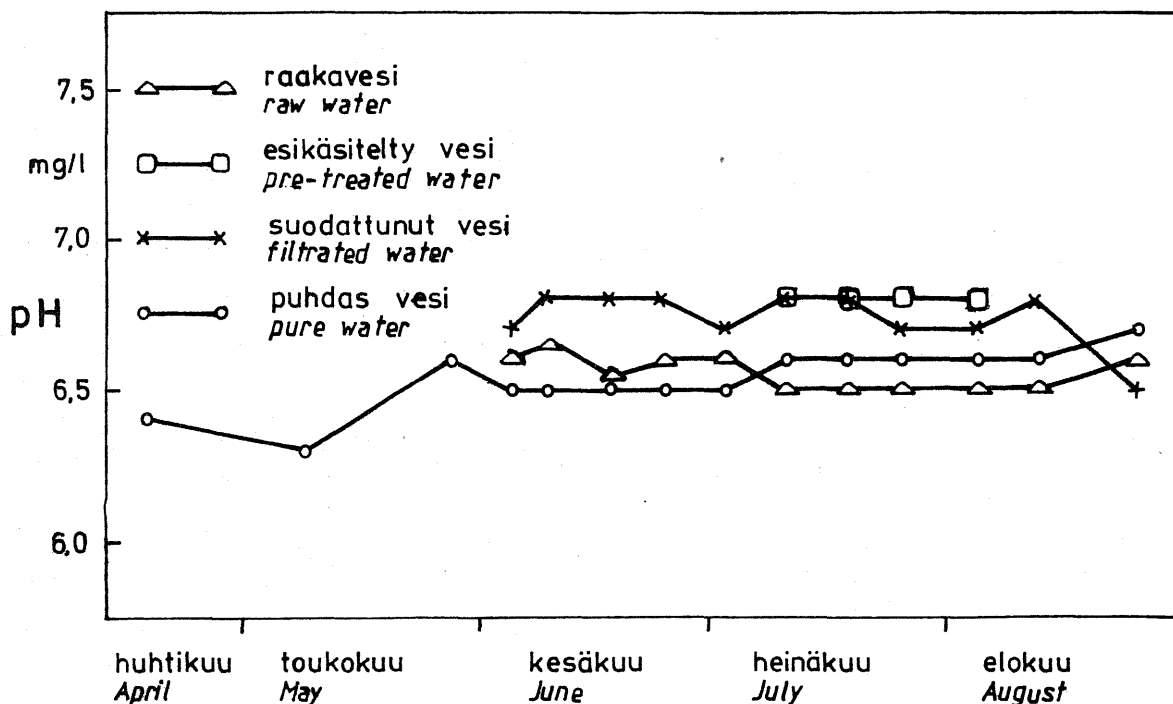
Happimittauksen yhteydessä havainnoitiin myös veden lämpötilat. Hapen liukoisuus veteen alenee lämpötilan noustessa /13/. Jälleenimeytyskokeen aikana todetut veden lämpötilat sekä niiden perusteella lasketut hapen kyllästysarvot on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Veden lämpötilat ja hapen kyllästysarvot jälleenimeytyskokeen aikana
 Table 7. Temperatures of water and the saturation values of oxygen during the re-intiltration test

Päivä Date	Raakavesi Raw water		Esikäsitelty vesi Pre-treated water		Suodattunut vesi Infiltrated water		Puhdas vesi Pure water	
	t °C	kyll.arvo %	t °C	kyll.arvo %	t °C	kyll.arvo %	t °C	kyll.arvo %
24.06.	8,5	17,1			8,2	73,2	7,0	36,4
02.07.	7,9	21,6			7,5	48,5	7,1	43,2
10.07.	7,5	20,9	7,5	61,9	7,8	63,3	8,0	49,2
18.07.	6,9	20,0	6,1	56,2	7,2	58,1	7,2	44,2
25.07.	8,5	18,8	6,8	44,9	8,0	56,8	9,0	50,0
04.08.	7,5	20,9	6,5	59,3	7,9	56,5	8,0	55,1

6.35 p H

Vesien luontainen happamuusaste perustuu hiilihappotasapainoon, johon organismit vaikuttavat elintoiminnoillaan. Jälleenimeytyskokeessa todetut pH-arvot on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. Veden pH-arvot jälleenimeytyskokeen aikana
Fig. 24. The pH-values of water during the re-infiltration test

pH-arvojen vaihtelut olivat vähäisiä. Raakaveden pH oli välillä 6,5...6,6. Esikäsitellyssä veden pH nousi arvoon 6,8. Suodattuneessa vedessä pH oli 6,7...6,8. Puhtaan veden pH laski suunnilleen samalle tasolle kuin raakavedessä. Jälleenimeytys ei siten muuttanut veden happamuusastetta lainkaan.

6.36 V ä r i

Veden Pt-väriä käytetään humusperäisen, orgaanisen aineen mittana. Lääkintöhallituksen suosittelemat ohjearvot talous- ja juomaveden väriarvon raja-arvoiksi ovat 15 mg Pt/l ja 30 mg Pt/l.

Raakaveden väriarvojen keskiarvo oli hieman yli 6 mg Pt/l. Esikäsitellyssä vedessä keskiarvo oli 13 mg Pt/l, ja se vaihteli välillä 5...20 mg Pt/l. Suodatuksessa veden väriarvo laski alle 5 mg Pt/l lähes koko kokeen ajan. Suodattuneessa vedessä todettiin kerran arvot 5 ja 15 mg Pt/l. Myös puhtaan veden väriarvo oli melkein koko kokeen ajan alle 5 mg Pt/l vain kaksi kertaa todettiin arvo 5 mg Pt/l.

6.37 K a l i u m p e r m a n g a n a a t i n k u l u t u s

KMnO₄-kulutuksella määritellään vedessä olevan hapettuvan aineksen määrää. Lääkintöhallituksen suositteleva alempi raja-arvo permanganaattiluvuksi juoma- ja talousvedelle on 15 mg/l.

Raakaveden KMnO₄-kulutus vaihteli välillä 0,2...2,5 mg/l, ja analyysien keskiarvo oli 0,84 mg/l. Esikäsitellyssä KMnO₄-kulutuksen vaihteluväli oli 0,6...2,4 mg/l, ja keskiarvo nousi arvoon 1,1 mg/l. Suodattuneessa vedessä keskiarvo laski arvoon 0,65 mg/l ja puhtaassa vedessä arvoon 0,53 mg/l. Vedessä olevan hapettuvan aineksen määrä oli siis vähäinen.

6.38 M u u t a n a l y y s i t u l o k s e t

Raakaveden vapaa hiilihappopitoisuus laski jälleenimeytysprosessissa keskimäärin arvosta 38 mg/l arvoon 30 mg/l. Puhdaskin vesi on siis aggressiivista ja se vaatii neutraloinnin.

Veden sähkönjohtokyky riippuu pääasiassa vedessä liuenneena olevien, ionisoitujen suolojen pitoisuudesta. Raakaveden sähkönjohtokyky pysyi jälleenimeytyksessä lähes ennallaan siten, että raakavedessä sähkönjohtokyky oli keskimäärin 15 mS/m ja puhtaassa vedessä keskimäärin 13 mS/m.

Vesi oli laadultaan pehmeää. Raakaveden kovuus oli noin 3,4 °dH ja puhtaan veden kovuus noin 3,0 °dH.

Sekä raakaveden että puhtaan veden todettiin olevan hygieni- sessä suhteessa moitteetonta juoma- ja talousvettä.

6.39 Imeytysaltaiden tukkeutuminen

Raakaveden imeytys aloitettiin toukokuun lopussa altaassa 1. Allas tukkeutui heinäkuun alussa, jolloin imeytys siirrettiin altaaseen 2. Altaaseen 1 imeytetty vesimäärä oli noin 16 500 m³ ja imeytysaika 34 vuorokautta. Imeytymisnopeus oli alussa noin 0,2 m/h ja ennen altaan vaihtoa noin 0,1 m/h.

Allas 2 tukkeutui 21 vuorokaudessa, kun raakavettä oli imeytetty noin 15 500 m³. Imeytymisnopeus oli alkuvaiheessa noin 0,3 m/h ja lopussa noin 0,1 m/h. Allas 1 puhdistettiin ja imeytys siirrettiin taas siihen. Nyt allas tukkeutui 12 vuorokaudessa, kun imeytetty vesimäärä oli noin 9 000 m³.

Imeytystä jatkettiin yhtäaikaaisesti molempiin altaisiin. Kokeen loppuvaiheessa altaiden välinen pengeri murtui ja imeytystä jatkettiin vain altaaseen 2.

Suodatinhiekkakerroksesta otettiin ennen ensimmäistä puhdistamiskertaa neljä näytettä eri syvyyksiltä. Näytteet otettiin syvyyksiltä 0...1 cm, 2...3 cm, 5...7 cm ja 20...22 cm.

Myös puhtaasta hiekasta otettiin vertailunäyte. Näytteistä tutkittiin rautapitoisuus. Tutkitut rautapitoisuudet on esitetty taulukossa 8 suhdelukuina siten, että pintakerroksen rautapitoisuutta on merkitty arvolla yksi.

Taulukko 8. Suodatinhiekan suhteelliset rautapitoisuudet
Table 8. The relative iron contents of the sand filter

Syvyys Depth cm	Rautapitoisuus Iron content
0...1	1,0
2...3	0,2
5...7	0,3
20...22	0,3
puhdas hiekka pure sand	0,3

Tuloksista havaitaan, että käytännöllisesti katsoen kaikki rauta on pidähtynyt suodatinhiekkakerroksen pintaan. Suodatinhiekan puhdistamisessa riittää siten pintakerroksen poistaminen.

6.4 TOIMENPITEET JÄLLEENIMEYTYSMENETELMÄN KÄYTTÖÖN- OTTOA VARTEN KANTEENMAAN POHJAVEDENOTTAMOLLA

6.41 Y l e i s t ä

Punkalaitumella tehdyn jälleenimeytyskokeen perusteella voidaan todeta kyseisen menetelmän sopivan hyvin raudanpoistomenetelmäksi Kanteenmaan pohjavedenottamolle. Puhtaan veden rautapitoisuus oli koko kokeen ajan alle 0,02 mg/l eli huomattavasti alle lääkintöhallituksen alemman raja-arvon 0,3 mg/l. Puhtaan veden mangaanipitoisuus oli koko kokeen ajan alle 0,03 mg/l eli pienempi kuin lääkintöhallituksen alempi raja-arvo, joka on 0,1 mg/l.

Kokeessa pumpattu puhdas vesi oli hyvää juoma- ja talousvettä. Syövyttävien ominaisuuksien takia vesi on neutraloitava.

6.42 P u h d a s v e s i k a i v o

Jos jälleenimeytys otetaan Kanteenmaan pohjavedenottamalla käyttöön, on pumppauspaikalle (piste 16) rakennettava vedenottokaivo. Ennen kaivon rakentamista voidaan väliaikaiseen pumppaukseen käyttää koepumppauskalustoa. Puhdas vesi johdetaan kaivoon I ja sen kautta kulutukseen.

Kaivon rakentamista varten on laadittava erillinen kaivosuunnitelma. Suunnittelussa voidaan käyttää seuraavia tietoja /22/:

- maaperä pisteen 16 kohdalla on maanpinnasta (= kuopan pohja) alkaen noin 12 metrin syvyyteen saakka vettä hyvin läpäisevää hiekkaa
- todettujen hydrogeologisten olosuhteiden mukaan paikalle rakennettava siiviläputkikaivo voidaan mitoittaa noin 500...600 l/min vesimäärän ottamiseen.

Tiedot kaivon suunnittelua varten pisteen 16 kohdalla /24/:

-	maanpinnan korkeus (= kuopan pohja)	+ 78,22
-	pohjaveden pinta 21.4.1980	+ 75,82
-	työputki Ø mm	700
-	siiviläputki Ø mm	400
-	siiviläosan pituus m	6,0
-	siiviläosan yläpää	+ 72,20
-	siiviläosan alapää	+ 66,20
-	lieteputken pituus m	2,0
-	lieteputken alapää	+ 64,20
-	kaksi suodatinsorakerrosta:	
	ulompi kerros (vahvuus 70 mm)	
	raekoko mm	3-4
	sisempi kerros (vahvuus 80 mm)	
	raekoko mm	12-16
-	siivilän raon leveys mm	3

6.43 Esikäsittely ja imeytysallas

Keskimääräinen vedenotto Kanteenmaan pohjavedenottamolta oli vuonna 1979 $144 \text{ m}^3/\text{d}$. Imeytysallas voidaan tässä vaiheessa mitoittaa noin $200 \text{ m}^3/\text{d}$ raakaveden pumppaukselle. Tällöin voidaan kulutukseen ottaa $200\text{--}250 \text{ m}^3/\text{d}$ puhdasta vettä. Muulloin kuin talviaikana voidaan näin mitoitettuihin altaisiin pumpata noin kaksinkertainen määrä raakavettä, jolloin vastaavasti puhdasta vettä voidaan kuluttaa $400\text{--}500 \text{ m}^3/\text{d}$. Tällöin kuitenkin altaiden puhdistamisväli lyhenee noin puoleen.

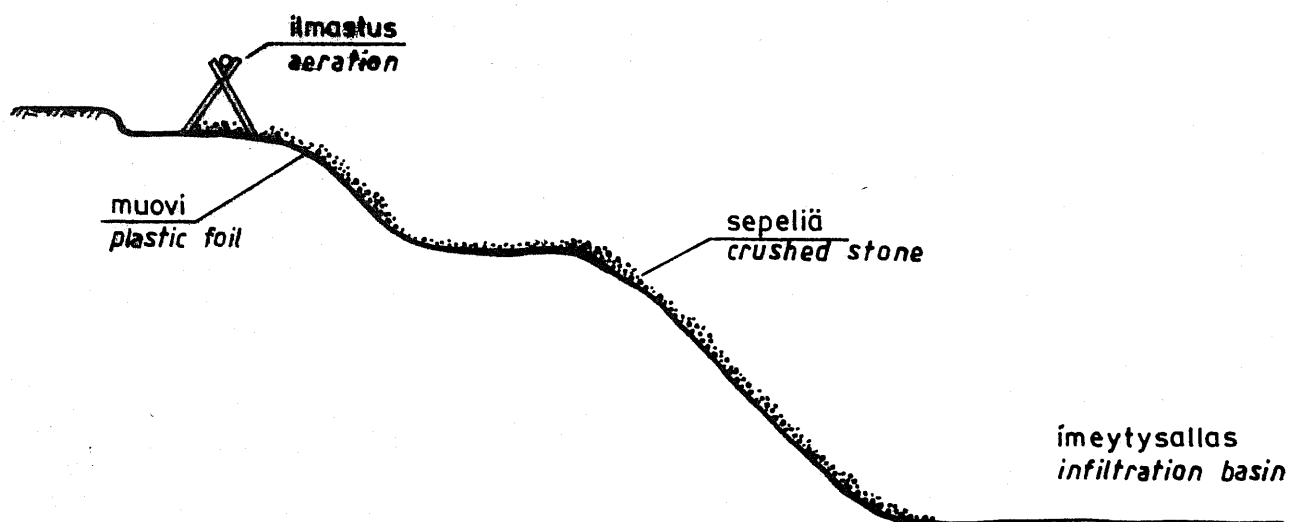
Jälleenimeytyskokeessa saatujen tulosten perusteella allas 1 tukkeutuisi noin $200 \text{ m}^3/\text{d}$ raakaveden pumppausteholla kahdessa kuukaudessa. Allas 2 tukkeutuisi suunnilleen kahdessa ja puolessa kuukaudessa.

Tarvittavan neljän kuukauden puhdistusvälin saamiseksi talviaikana on altaat 1 ja 2 yhdistettävä tai laajennettava altaasta 1 noin 100 m^2 verran. Altaat yhdistetään kaivamalla altaan 1 pohja samalle tasolle kuin altaan 2 pohja.

Jos lasketaan tarvittava imeytysaltaan pinta-ala kaavan (4) (sivu 28) avulla, saadaan tulokseksi noin 130 m^2 . Kokeen perusteella arvioitu imeytysaltaan pinta-alantarve on kyllin pitkän puhdistusvälin saamiseksi siis noin puolitoiskertainen laskennallisesti saatuun tulokseen verrattuna. Osaksi suurempi pinta-alantarve johtuu siitä, että kokeessa käytetyn sepelisuodattimen tilavuus oli vain noin puolet kaavan (5) (sivu 37) mukaan lasketusta arvosta.

Jos altaat yhdistetään, siirretään esikäsittely altaiden väliseltä penkereeltä nykyisen altaan 1 pohjoispuolelle. Paikalla on noin kolmen metrin korkuinen rinne, johon ilmastus ja sepelisuodatus voidaan sijoittaa kuvan 25 mukaisesti.

Esikäsitteily saadaan näin tehokkaammaksi kuin kokeessa käytetyllä järjestelyllä. Esikäsitteilyn tehostaminen hidastaa imeytysaltaan tukkeutumista.



Kuva 25. Ilmastus ja sepelisuodatus
Fig. 25. Aeration and infiltration through crushed stone

6.44 Muut toimenpiteet

Jälleenimeytystä varten on rakennettava raakavesijohto kaimosta II imeytyspaikalle. Uusi puhdasvesikaivo yhdistetään vesijohdolla vanhaan verkostoon. Yhteensä uutta vesijohtoa joudutaan rakentamaan noin 250...300 metriä.

7. JÄLLEENIMEYTYSLAITOKSEN
RAKENTAMIS - JA KÄYTTÖ -
KUSTANNUKSISTA

7.1 RAKENTAMISKUSTANNUKSET

7.11 Yleistä

Normaalin raudanpoistolaitoksen, johon kuuluu ilmastus, selkeytys, suodatus ja kemikaliointi, rakentaminen varsinkin pienelle pohjavesilaitokselle on verrattain kallista. Tästä syystä on pyritty kehittämään halvempia käsittelymenetelmiä. Näistä vaihtoehtoista on jälleenimeytysmenetelmä eräs.

Jälleenimeytyslaitoksen rakentamiskustannukset vaihtelevat suuresti riippuen pääasiassa raakavedenottopaikan ja imeytysalueen etäisyydestä sekä lisäkaivojen tarpeesta. Jälleenimeytyksestä aiheutuvat rakentamiskustannukset ovat pienimmillään, kun raakaveden otto ja imeytys tapahtuvat samalla alueella ja pohjavedenottamon kaivoa voidaan käyttää joko raakavesikaivona tai puhdasvesikaivona.

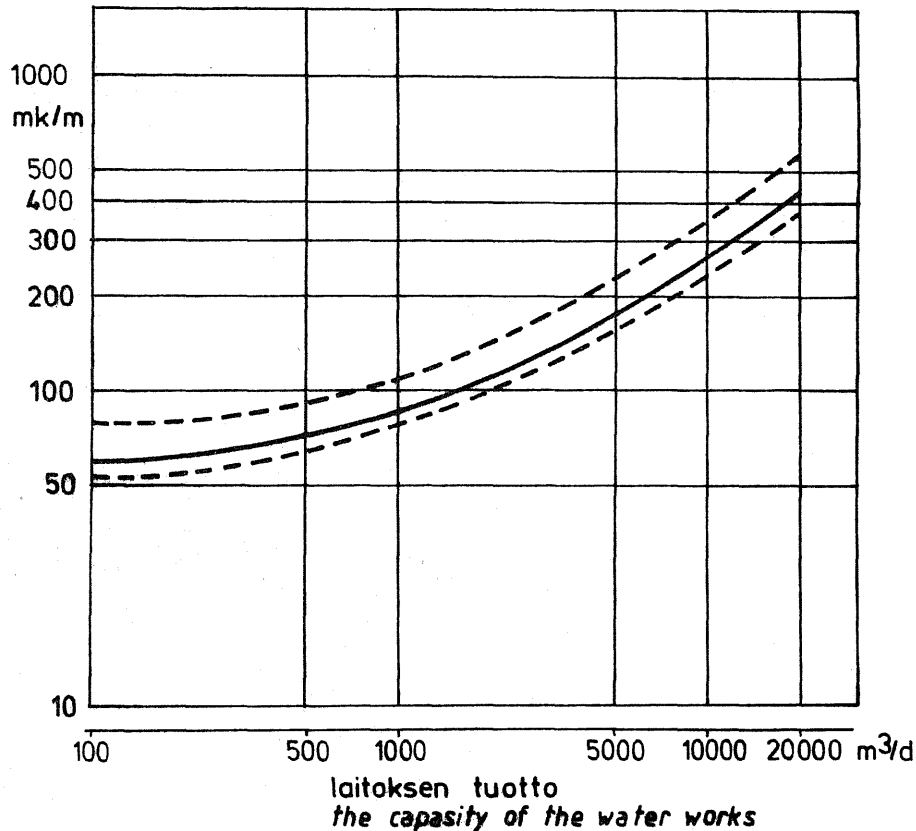
Jälleenimeytyksen soveltuvuutta yksittäiselle pohjavedenottamolle ei voida todeta ilman paikalla tehtyjä laitosmittakaavaisia kokeita. Sopivan imeytyspaikan löytämiseksi tehdyt tutkimukset sekä jälleenimeytyskoe aiheuttavat joskus jopa suuremmat kustannukset kuin varsinaisen laitoksen rakentaminen.

Seuraavaan esitykseen on kerätty tietoja Iisalmen, Joensuun, Peräseinäjoen ja Taivassalon jälleenimeytyslaitoksilta.

7.12 Lisäkaivot ja raaka-
vesijohto

Otettaessa jälleenimeytys käyttöön pohjavedenottamalla aiheu-

tuvat suurimmat kustannukset raakavesijohdon ja lisäkaivojen rakentamisesta. Raakavesijohtokustannuksia voidaan arvioida kuvan 26 perusteella.



Kuva 26. Raakavesijohdon rakentamiskustannukset /21/
Fig. 26. The investment costs of raw water pipe /21/

Lisäkaivojen rakentamisesta aiheutuneet kustannukset vaihtelivat 25 000...35 000 mk kaivoa kohti. Yhdellä laitoksella oli tarvittu sekä uusi raakavesi- että puhdaskaivo. Yhdellä laitoksella tarvittiin uusi puhdasvesikaivo, kahdella laitoksella ei uusia kaivoja tarvittu lainkaan.

7.13 E s i k ä s i t t e l y j a i m e y t y s a l l a s

Esikäsitteily-yksikön kustannukset muodostuvat pääasiassa sepelisuodattimesta. Ilmastimesta aiheutuvat kustannukset ovat yleensä pieniä, koska jälleenimeytyslaitoksen ilmastimeksi riittää tavallisesti yksinkertainen rei'itetty putki.

Halvimmassa sepelisuodatinratkaisussa tarvitaan ainoastaan sepeliä, joka levitetään muovin tai suodatinkankaan päälle. Kalliimmassa ratkaisussa rakennetaan betoninen portaikko, jonka päälle levitetään sepelikerros.

Esimerkkilaitoksilla ovat esikäsitteilystä aiheutuneet rakentamiskustannukset vaihdelleet 1 800...25 000 mk. Suodattimeen tarvittavan sepelin määrä on sitä suurempi mitä enemmän raakavettä imeytetään ja mitä rauta- ja mangaanipitoisempaa se on. Vesimäärien lisäyksen sekä suurempien rauta- ja mangaanipitoisuuksien aiheuttama lisäys esikäsitteilyn rakentamiskustannuksiin on verrattain pieni.

Imeytysaltaasta ei kaivukustannusten lisäksi aiheudu kuin suodatinhiekan hankinnasta ja levityksestä muodostuvat kustannukset. Imeytysaltaan luiskiin voidaan myös tehdä betoniverhous, joka nostaa kustannuksia huomattavasti.

Esimerkkilaitoksilla vaihtelivat imeytysaltaan rakentamiskustannukset välillä 1 000...30 000 mk. Imeytysaltaan pinta-ala on sitä suurempi mitä suurempi on imeytettävä vesimäärä ja sen rauta- ja mangaanipitoisuus. Pinta-alan lisäyksen aiheuttama nousu imeytysaltaan rakentamiskustannuksessa on kuitenkin verraten pieni.

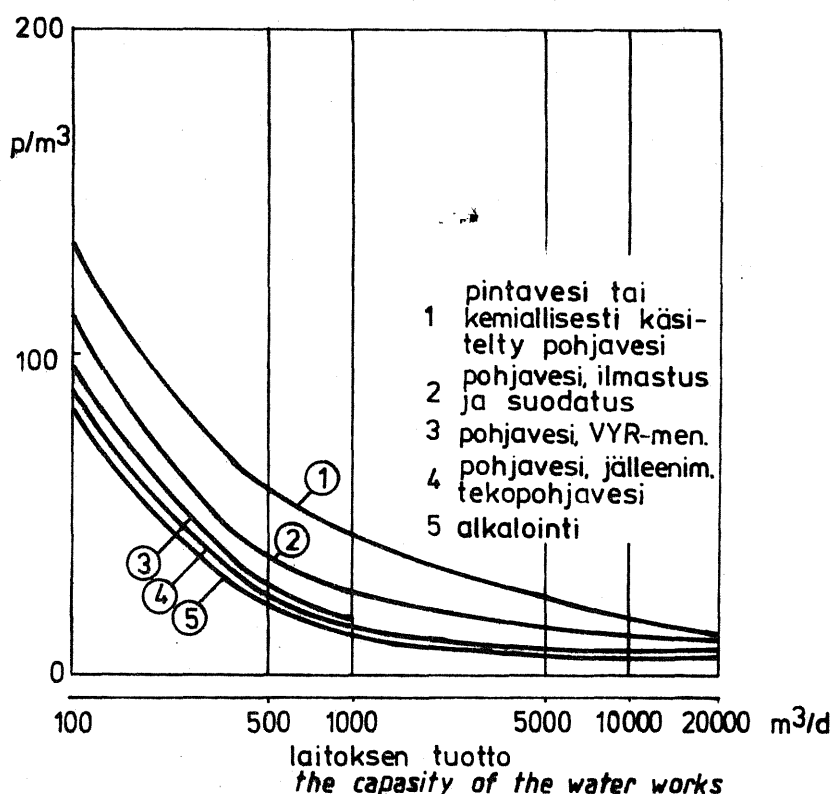
7.14 Yhteenveto rakentamiskustannuksista

Taulukkoon 9 on yhdistetty jälleenimeytyslaitoksista aiheutuneita kustannuksia esimerkkikunnissa.

Taulukko 9. Jälleenimeytyslaitosten rakentamiskustannuksia
Table 9. Investment costs of the re-infiltration plants

Kunta <i>Commune</i>	Raaka- vesikaivo <i>Raw water well</i>	Puhdas- vesikaivo <i>Pure water well</i>	Muut <i>Other costs</i>	Yhteensä <i>Altogether</i>	Raaka- vesikaivo <i>Raw water well</i>	Imeytys- allas <i>Infiltration basin</i>
	mk	mk	mk	mk	m ³ /d	m ²
Taivassalo	35 000	35 000	90 000	160 000	290	400
Joensuu	vanha	vanha	50 000	50 000	5 300	900
Peräseinä- joki	vanha	25 000	8 500	43 500	500	300
Iisalmi	vanha	vanha	3 500	3 500	900	250

Lähteessä /21/ on esitetty vedenkäsittelylaitosten rakennuskustannuksia. Kustannustiedot ovat osittain laskennallisia ja osittain jo rakennettujen laitosten kustannuksiin perustuvia. Kuvassa 27 on esitetty näin saadut keskimääräiset rakennuskustannukset. Rakentamiskustannuksiin ei ole laskettu mukaan tontti-, suunnittelu- eikä rakennuttamiskustannuksia. Kustannukset on esitetty vuodenvaihteen 1977/1978 hintatasossa. Jälleenimeytyslaitoksen rakentamiskustannusten perustana on pidetty vastaavan kokoisen alkalointilaitoksen rakennuskustannuksia. Näihin on lisätty kustannukset ylimääräisien raakavesikaivojen, imeytysaltaan ja sen esikäsittelyosan sekä laitoksen sisäisten johtojen (100 m) osalta. Yksittäisissä tapauksissa voivat rakennuskustannukset poiketa huomattavastikin keskimääräisistä arvioista.



Kuva 27. Vedenkäsittelylaitosten rakentamiskustannukset /21/

Fig. 27. The investment costs of water treatment plants /21/

7.15 Tutkimuskustannukset

Jos rautapitoinen raakavesi johdetaan jälleenimeytykseen pohjavesialueelle, jonka vesi on raudan- ja mangaanin suhteen hyvälaatuista, ovat sopivan imeytyspaikan etsimisestä aiheutuvat tutkimuskustannukset yleensä pienet.

Jälleenimeytys voidaan suorittaa myös paikalla, jonka alkuperäinen pohjavesi on rauta- ja/tai mangaanipitoista. Varmemman puhdistustuloksen saamiseksi on kuitenkin syytä etsiä imeytysalueeksi paikka, jonka alkuperäinen pohjavesi on hyvälaatuista.

Laitoskohtaisten tutkimuskustannusten suuruudesta ei ole käytettävissä tietoja. Mikäli sopiva imeytysalue löydetään kairauksien ja yhden lyhytaikaisen koepumppauksen avulla, ovat tutkimuskustannukset 30 000 markan luokaa. Kustannukset nousevat sitä suuremmiksi mitä enemmän koepumppauksia joudutaan tekemään.

Varsinaisen laitosmittakaavaisen kokeen suorittamiseksi on rakennettava esikäsittely-yksikkö sekä imeytysallas. Raakavesi- ja puhdasvesikaivoina käytetään joko koepumppauskylustoa tai paikalla olevia valmiita kaivoja. Jälleenimeytyskokeen pituudeksi on suositeltu noin kolmea kuukautta /7/.

7.2 KÄYTTÖKUSTANNUKSET

7.21 E n e r g i a

Jälleenimeytyksen takia joudutaan vesi pumpaamaan maaperästä kaksi eri kertaa. Raakaveden pumpppauksesta aiheutuneita energiakustannuksia on lueteltu taulukossa 10.

Taulukko 10. Raakaveden pumpppauksesta aiheutuvat energiakustannukset jälleenimeytyslaitoksella
Table 10. The energy costs of raw water pumping in re-infiltration plants

Kunta <i>Commune</i>	Raakavesi <i>Raw water</i> m ³ /d	Energiakustannukset <i>Energy costs</i>	
		p/m ³	kWh/m ³
Taivassalo	290	3,5	0,15
Iisalmi	900	3,5	0,16
Peräseinäjoki	500	2,2	0,11
Joensuu	5 300	3,0	0,14

7.22 Suodattimien puhdistaminen

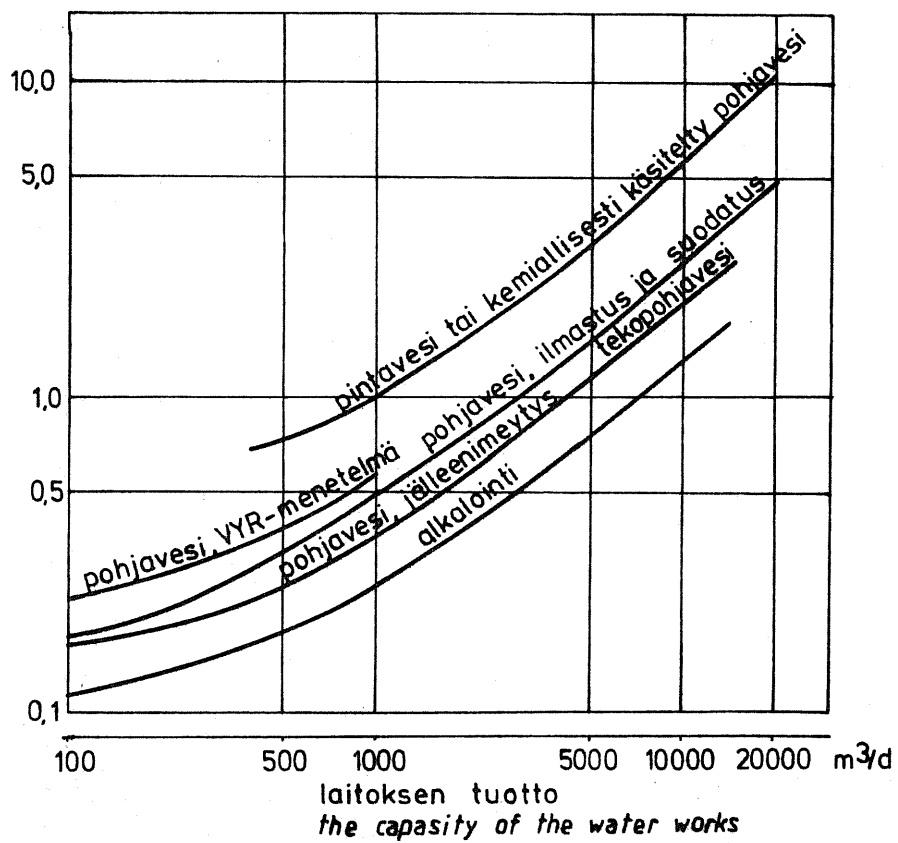
Suodattimia joudutaan puhdistamaan 2-4 kertaa vuodessa. Tavallisesti puhdistus suoritetaan käsityönä. Suodatinhiekkaa ja sepeliä joudutaan lisäämään tarpeen mukaan, keskimäärin joka toinen vuosi.

Suodattimien puhdistamisesta aiheutuneet kustannukset olivat jälleenimeytyslaitoksilla noin 1 000...2 000 mk vuodessa. Puhdasvesikuutiometriä kohti puhdistuskustannukset olivat 0,2...3,4 p.

7.23 Yhteenvedo käyttö- kustannuksista

Esimerkkilaitoksilla vaihtelivat energiakulutuksesta sekä suodattimien puhdistamisesta ja lisäyksistä aiheutuneet käyttökustannukset raakavesikuutiometriä kohti 3,0...6,6 p/m³, ja keskiarvo oli 5,1 p/m³. Puhdasvesikuutiometriä kohti laskettuna olivat kustannukset 3,0...11,5 p/m³, ja keskiarvo oli 6,6 p/m³.

Lähteessä /21/ on selvitelty vedenkäsittelylaitosten käyttö-kustannuksia. Esitetyt käyttökustannustiedot selviävät kuvasta 28. Käyttökustannuksiin on laskettu hoitohenkilöstön palkkaus, energiakustannukset lukuunottamatta verkoston pumppausta, kemikaalikustannukset sekä huolto- ja korjauskustannukset. Jälleenimeytyslaitoksen käyttökustannusten perustana on pidetty alkalointilaitoksen kustannuksia. Näihin on lisätty raakaveden pumppauksesta, suodattimien puhdistamisesta ja suodatinhiekan lisäyksestä aiheutuvat kustannukset. Kemikalointikustannusten on oletettu vähentyvän 30 % alkalointilaitokseen verrattuna.



Kuva 28. Vedenkäsittelylaitosten käyttökustannukset /21/
Fig. 28. The running costs of water treatment plants /21/

TIIVISTELMÄ

Jälleenimeytyslaitos sisältää tavallisesti raakavesikaivon, esikäsittely-yksikön, imeytysaltaan ja puhdasvesikaivon. Rauta- ja/tai mangaanipitoinen pohjavesi pumputaan raakavesikaivosta ja johdetaan esikäsittelyyn. Se sisältää tavallisesti ilmastimen sekä sepeliä, jota pitkin vesi virtaa imeytysaltaaseen. Vesi imeytyy imeytysaltaan pohjalla olevan suodatinhiekkakerroksen läpi takaisin maaperään, josta se otetaan käyttöön puhdasvesikaivon kautta. Ilmastuksen ansiosta pohjavedessä liukoisessa muodossa olevat rauta ja mangaani hapettuvat liukenemattomaan muotoon, jolloin ne saostuvat ja pidättyvät sepeliin sekä suodatinhiekkään. Osaksi saostuminen on myös biologinen tapahtuma. Sepeliin ja hiekka-suodattimeen muodostuu bakteerikanta, joka pystyy saostamaan pohjaveden rautaa ja mangaania.

Jälleenimeytyslaitoksia on Suomessa tällä hetkellä käytössä noin kymmenen. Tähän selvitykseen kerättiin tietoja viideltä laitokselta. Näistä vanhin on otettu käyttöön v. 1976. Puhdistustulokset ovat laitoksilla olleet jatkuvasti hyviä. Vain yhdellä laitoksista on esiintynyt ajoittain korkeita rautapitoisuuksia. Tämä on ilmeisesti johtunut yhden puhdasvesikaivon epäedullisesta sijainnista imeytysaltaaseen nähden. Muilla laitoksilla veden rautapitoisuus on 0,01...0,2 mg/l ja mangaanipitoisuus 0,03...0,2 mg/l. Lääkintöhallituksen suosittama alempi raja-arvo juoma- ja talousveden rautapitoisuudeksi on 0,3 mg/l ja mangaanipitoisuudeksi 0,1 mg/l.

Jälleenimeytyksen soveltuvuutta vesilaitokselle ei voida arvioida laboratoriokokein, vaan ennen menetelmän käyttöönottoa on paikalla tehtävä laitosmittakaavainen jälleenimeytyskoe. Punkalaitumen kunnan Kanteenmaan pohjavedenottamalla tehtiin kolme kuukautta kestänyt jälleenimeytyskoe. Raakaveden rautapitoisuus oli kokeen aikana keskimäärin 1,2 mg/l. Ilmastuksessa ja sepelisuodatuksessa rautapitoisuus laski noin 20 %. Maaperään imeytyvän veden rautapitoisuus oli keskimäärin enää 0,05 mg/l. Raakaveden mangaanipitoisuus

oli vain noin 0,04 mg/l. Esikäsitteily ei vaikuttanut mangaanipitoisuuteen juuri lainkaan, mutta suodatinhiekan läpäis-
seessä vedessä oli pitoisuus noin 0,03 mg/l. Raudan ja man-
gaanin poistaminen onnistui hyvin ja menetelmä voidaan ottaa
Kanteenmaassa käyttöön. Sepelisuodatinta ja imeytysaltaan
pinta-alaa on laajennettava, jotta saadaan tarpeeksi pitkä
puhdistusväli suodattimille. Kokeessa käytettyä suodatin-
hiekkaa analysoitaessa havaittiin saostuneen raudan pidät-
tyneen lähes täydellisesti aivan suodatinhiekkakerroksen
pintaan. Suodattimen puhdistamiseksi riittää siten pinta-
kerroksen poistaminen.

Jälleenimeytyslaitoksen rakentamis- ja käyttökustannukset
ovat yleensä alemmat kuin muiden raudan- ja mangaaninpoisto-
menetelmien. Rakentamiskustannukset vaihtelevat kuitenkin
samankokoisillakin laitoksilla huomattavasti. Rakentamis-
kustannukset ovat suurimmat silloin, kun jälleenimeytyksen
takia joudutaan rakentamaan sekä uudet raakavesi- että
puhdasvesikaivot. Usein voidaan jälleenimeytyksessä käyttää
valmiin pohjavedenottamon kaivoja raakavesi- ja/tai puhdas-
vesikaivoina, jolloin rakentamiskustannukset alenevat huom-
tavasti. Tutkimuskustannukset voivat jälleenimeytyslaitok-
sella muodostua suhteellisen suuriksi. Tämä johtuu pitkästä
laitosmittakaavaisesta kokeesta sekä tutkimuksista, jotka on
tehtävä sopivan imeytysalueen löytämiseksi. Jälleenimeytyk-
sestä aiheutuvista käyttökustannuksista aiheuttaa raakaveden
pumppaus suuren osan. Energiakustannukset raakavesikuutio-
metriä kohti vaihtelivat 2,2...3,5 p/m³, joka vastaa 0,11...
0,16 kWh/m³ energiankulutusta. Suodattimet puhdistetaan lai-
toksilla 2-3 kertaa vuodessa. Tästä aiheutuu 0,2...3,4 p/m³
suuruiset kustannukset.

SUMMARY

A re-infiltration plant usually comprises a raw-water well, a pre-treatment unit, an infiltration basin and a pure-water well. Water containing iron and/or manganese is pumped from the raw-water well and conducted to the pre-treatment unit. The unit usually contains an aerator and crushed stone through which the water flows into the infiltration basin. The water infiltrates back into the soil through a sand filter in the infiltration basin. The water is then used by pumping it from the pure-water well. The iron and manganese dissolved in the ground water oxidize to the insoluble state because of the aeration, are precipitated and retained by the crushed stone and the sand filter. The precipitation of iron and manganese is also partly a biological process. In the crushed stone and the sand filter bacteria are born, capable of precipitating the iron and manganese in the ground water.

There are some ten re-infiltration plants in Finland. Information was collected from five plants for this investigation. The oldest of these plants was built in 1976. The purification results of these plants have been consistently good. Only in one plant have there sometimes been high iron contents. The reason for this is obviously the fact that one of the pure-water wells is too far from the infiltration basin. In the other plants the iron content of the water has been 0.01...0.2 mg/l. The lower limit recommended by the state Medical Board for the iron content of drinking water is 0.3 mg/l and the corresponding limit of manganese content is 0.1 mg/l.

The suitability of the re-infiltration method cannot be estimated on the strength of laboratory tests. Before the re-infiltration method can be adopted a re-infiltration test has to be carried out. In the Kanteenmaa water works in the commune of Punkalaidun a re-infiltration test was carried out, spread over three months. The average iron content of the raw water was 1.2 mg/l during the re-infiltration test. Aeration and

passing through crushed stone reduced the iron content by some 20 %. The iron content of the water infiltrating into the soil was only 0.05 mg/l. The manganese content of the raw water was as low as some 0.04 mg/l. Pre-treatment did not reduce the manganese content, but in the filtrated water it was some 0.03 mg/l. The removal of iron and manganese was successful and the method can be adopted in Kanteenmaa. The amount of the crushed stone and the area of the infiltration basin will have to be increased so that the purification interval of the filters becomes long enough. When the sand used in the filter in the test was analyzed it was noticed that the precipitated iron was retained almost wholly by the surface of the sand filter. So removing the surface of the sand filter is enough to purify the filter.

The initial and running costs of a re-infiltration plant are usually lower than those of removing iron and manganese in other kinds of plants. However, initial costs vary considerably even in plants of similar size. These costs are highest when both raw-water and pure-water wells have to be built to achieve the re-infiltration. The existing wells of the water works can often be used as raw-water and/or pure-water wells in re-infiltration. This will considerably reduce the initial costs. The initial costs of a re-infiltration plant can become relatively high because of a through re-infiltration test and investigations which have to be made to find a suitable infiltration area. The pumping of raw water causes a great proportion of the running costs of re-infiltration. The energy cost per cubic meter of raw-water varies between 2.2 and 3.5 p/m³, which corresponds to an energy consumption of 0.11... 0.16 kWh/m³. In the plants the filters must be purified 2-3 times a year. The purification entails a cost of 0.2... 3.4 p/m³.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- /1/ Airaksinen, J.V. 1978. Maa- ja pohjavesihydrologia. Oulu
- /2/ Beger, H. 1966. Leitfaden der Trink- und Brauchwasserbiologie. Stuttgart.
- /3/ Bower 1978. Groundwater hydrology.
- /4/ Cox, C.R. 1969. Operation and control of water treatment processes. World Health Organisation. Geneva.
- /5/ Engelbrecht, R.S., O'Connor, J.T. & Ghosh, M. 1967. Iron removal by aeration and filtration. Water and Sewage Works 4:123-128.
- /6/ Hatva, T. 1977. Maaperän hyväksikäyttö vedenkäsittelyssä. Käyttöveden laadun parantaminen. INSKO, julkaisu 67-77, X:1-38.
- /7/ Hatva, T. & Efraimsson, J. 1977. Raudan ja mangaanin poisto pohjavedestä jälleenimeytysmenetelmällä. YVY-tutkimus 37. Helsinki.
- /8/ Hatva, T., Niemistö, L. & Seppänen, H. 1971. Näkökohtia pohjaveden raudan pidättymisestä maaperään. Vesitalous 11, 5:13-20.
- /9/ Hatva, T., Niemistö, L. & Seppänen, H. 1973. Examination and removal of iron in groundwater. Aqua Fennica 1973:82-94.
- /10/ Hem, J.D. 1963. Chemical equilibria and rates of manganese oxidation. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1667-A.
- /11/ Hem, J.D. & Cropper, W.H. 1959. Survey of ferrous-ferric chemical equilibria and redox potentials. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1459-A.
- /12/ Hopkins, E.S. & Bean, E.L. 1966. Iron and manganese. Water purification control. Baltimore.
- /13/ Kajosaari, G. (toim.) 1973. Vesihuolto. RIL 93. Helsinki.
- /14/ Kauranne, L.K., Gardemeister, R., Korpela, K. & Mälkki, E. 1972. Rakennusgeologia II. TKY moniste n:o 304.
- /15/ Myry, J. 1970. Raudan ja mangaanin poisto. Käyttöveden puhdistus, jatkokäsittely ja valvontatoimenpiteet. INSKO, julkaisu 23-70, VIII:1-22.
- /16/ Määttä, R. 1977. Vesiensuojelun kemia ja biologia I. TKY moniste n:o 377.
- /17/ Mälkki, E. & Salmi, M. 1970. Suomen pohjavesivarat. Suomen kunnat 8.
- /18/ Natukka, A. 1965. Pohjaveden hankinta ja käyttöönotto. INSKO.

- /19/ Oborn, E.T. 1959. A Survey of pertinent biochemical literature. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1459-F.
- /20/ O'Connor, J.T. 1971. Iron and manganese. Water quality and treatment. A handbook of public water supplies.
- /21/ Pohjaveden käsittely ja tekopohjaveden muodostaminen maaperää hyväksi käyttäen 1978. YVY-julkaisu 34 b.
- /22/ Punkalaidun 1973. Pohjavesitutkimus n:o 7919. Suunnittelukeskus Oy. Tampere.
- /23/ Punkalaidun 1979. Veden laatututkimus. Suunnittelukeskus Oy. Tampere.
- /24/ Punkalaidun 1980. Kaivonpaikkatutkimus 575-7445. Suunnittelukeskus Oy. Tampere.
- /25/ Pöpel, H.J. 1976. Aeration and gas transfer. Delft University of Technology.
- /26/ Sahama, Th. G. 1947. Geokemia. Helsinki.
- /27/ Suurseppä, M. 1972. Pohjavesilaitostemme vedenlaatu ja käyttökustannukset. TKY diplomityö.
- /28/ Talousveden terveydellisen laadun valvonta 16.04.1980. Lääkintöhallituksen yleiskirje n:o 1701.
- /29/ Tiainen, V.-M. 1977. Yhdyskuntien vesihuollon tutkimukset. SITRA B 35. YVY-projektin loppuraportti, osa II. Helsinki.
- /30/ Vedenpuhdistamoiden suunnitteluohjeet 1978. RIL 116. Helsinki.
- /31/ Vesihuoltolaitokset 31.12.1978. 1979. Vesihallituksen tiedotus 180. Helsinki.
- /32/ Vesilaitosten veden laatu vuonna 1977. Vesihallituksen tiedotus 167. Helsinki.
- /33/ Wihuri, H. 1973. Pohjaveden muodostuminen ja virtaaminen. Vesitalous 13, 1:5-9.
- /34/ Wolfe, R.S. 1958. Cultivation, morphology and classification of the iron bacteria. Journal AWWA 50., 9:1241-1249.
- /35/ Wolfe, R.S. 1964. Iron and manganese bacteria. Principles and applications in aquatic microbiology (ed. by heukelekian, H. & Dondero, N.C). New York.
- /36/ Vom Wasser 1961. Ein Jahrbuch für Wasserchemie und Wasserreinigungstechnik. XXVIII Band.
- /37/ Yhdyskuntien vedenhankinnalle tärkeät pohjavesialueet 1976. Vesihallituksen tiedotus 109. Helsinki.
- /38/ Återinfiltration. Viak Ab. Esite. Stockholm.

Kanteenmaan jälleenimeytyskokeen
vesianalyysitulokset

LIITE 1.
APPENDIX 1.

Raakavesi

Pv		4.6.	9.6.	17.6.	24.6.	2.7.	10.7.
O ₂ (mittaus kentällä)	mg/l	2,7	3,7		2,0	2,6	2,5
Sähkönjohtavuus	mS/l			12			
pH		6,6	6,65	6,55	6,6	6,6	6,5
Väriluku	mg Pt/l	10	5	5	10		<5
KMnO ₄ -kulutus	mg/l	1,2	0,6	0,2	0,2	0,5	2,5
Fe	mg/l	1,10	0,89		0,30	1,10	1,20
Mn	mg/l	0,021	0,017	0,037	0,038	0,032	0,032

Pv		18.7.	25.7.	4.8.	12.8.	25.8.
O ₂ (mittaus kentällä)	mg/l	2,4	2,2	2,5		2,0
Sähkönjohtavuus	mS/l					18
pH		6,5	6,5	6,5	6,5	6,6
Väriluku	mg Pt/l	< 5	5	15	5	5
KMnO ₄ -kulutus	mg/l	0,7	0,8	0,8	0,9	0,5
Fe	mg/l	1,20	1,20	1,30	1,10	1,2
Mn	mg/l	0,040	0,040	0,046	0,052	0,050
Kokonaiskovuus	mmol/l					0,61
CO ₂	mg/l					38

Esikäsitelty vesi

Pv		10.7.	18.7.	25.7.	4.8.
O ₂ (mittaus kentällä)	mg/l	7,4	7,0	5,4	7,3
pH		6,8	6,8	6,8	6,8
Väriluku	mg Pt/l	5	10	20	15
KMnO ₄ -kulutus	mg/l	2,4	0,6	0,8	0,7
Fe	mg/l	0,97	0,91	1,00	0,99
Mn	mg/l	0,030	0,036	0,041	0,041

Puhtaan veden pumppauspaikan alkuperäinen pohjavesi

Pv.		16.4.	8.5.	27.5.
Sameus FTU			0,15	0,15
Sähkönjohtavuus	mS/l	8,8	8,3	7,7
Kokonaiskovuus	mmol/l		0,24	
pH		6,5	6,3	6,6
Väriluku	mg Pt/l		5	5
KMnO ₄ -kulutus	mg/l	0,3	0,7	0,8
NH ₄	mg/l		0,002	
NO ₂	mg/l		0,002	
NO ₃	mg/l		3,77	
Cl	mg/l		7,8	
Fe	mg/l	0,025	0,023	0,096
Mn	mg/l	0,006	0,006	0,003
Kolimuot. bakt.	kpl/100 ml		0	0
Fek.streptokokit	kpl/100 ml			0

Suodattunut vesi

Pv.		4.6.	9.6.	17.6.	24.6.	2.7.	10.7.
O ₂ (mittaus kentällä)	mg/l	10,7	8,1		8,6	5,8	7,5
Sähkönjohtavuus	mS/l			12			
pH		6,7	6,8	6,8	6,8	6,7	6,8
Väriluku	mg Pt/l	< 5	5	< 5	< 5	< 5	< 5
KMnO ₄ -kulutus	mg/l	1,6	0,2	0,1	0,2	0,4	1,3
Fe	mg/l	0,200	0,020	0,003	0,004	0,005	0,088
Mn	mg/l	0,010		0,034	0,005	0,015	0,031

Pv.		18.7.	25.7.	4.8.	12.8.	25.8.
O ₂ (mittaus kentällä)	mg/l	7,0	6,7	6,7		6,6
Sähkönjohtavuus	mS/l					17
pH		6,8	6,7	6,7	6,8	6,5
Väriluku	mg Pt/l	15	< 5	< 5	5	5
KMnO ₄ -kulutus	mg/l	0,6	0,9	0,7	0,5	0,4
Fe	mg/l		0,001	0,026	0,094	0,062
Mn	mg/l		0,037	0,030	0,023	0,031

Puhdas vesi

Pv.		4.6.	9.6.	17.6.	24.6.	2.7.	10.7.
O ₂ (mittaus kentällä)	mg/l	4,7	5,4		4,4	4,4	5,8
Sähkönjohtavuus	mS/l			10			
pH		6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,6
Väriluku	mg Pt/l	≤ 5	5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
KMnO ₄ -kulutus	mg/l	0,2	0,3	0,2	1,6	0,3	1,5
Fe	mg/l	0,016	0,009	0,003	0,005	0,005	0,006
Mn	mg/l	0,009	0,022	0,026	0,000	0,008	0,014
Enterokokit	kpl/100 ml	0					
Kolomuot.bakt.	kpl/100 ml	0					

Pv.							
O ₂ (mittaus kentällä)	mg/l	5,3	5,8	6,5		4,4	
Sähkönjohtavuus	mS/l					16	
pH		6,6	6,6	6,6	6,6	6,7	
Väriluku	mg Pt/l	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	5	
KMnO ₄ -kulutus	mg/l	0,1	0,2	0,5	0,4	0,5	
Fe	mg/l	0,013	0,008	0,012	0,006	0,009	
Mn	mg/l	0,019	0,021	0,013	0,013	0,022	
Kokonaiskovuus	mmol/l					0,54	
CO ₂	mg/l					30	

